

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA INDUSTRIAL**



**“APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA REDUCIR EL  
CONSUMO DE CUCHILLAS EN EL PROCESO DE CORTE EN LA  
FABRICACION DE PAPEL TISSUE”**

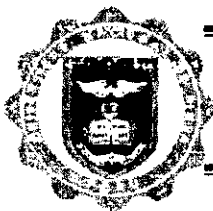
**PRESENTADA POR:**

**JAVIER EDUARDO ROJAS MERINO**

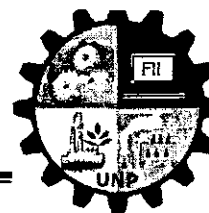
**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**Piura, Perú**

**2014**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
DECANATO



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Los Miembros del Jurado Calificador de la Tesis denominada: «**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA PARA REDUCIR EL CONSUMO DE CUCHILLAS EN EL PROCESO DE CORTE EN LA FABRICACIÓN DE PAPEL TISSUE**», presentada por la señor **JAVIER EDUARDO ROJAS MERINO**, Bachiller de la Escuela Profesional en Ingeniería Industrial, asesorada por la Ing. **Carmen Zulema Quito Rodríguez, MSc.**; reunidos para la sustentación de ésta y luego de escuchar su exposición y las respuestas a las preguntas formuladas, la declaran:



Con el Calificativo:

APROBADA.

MUY BUENO

En consecuencia el sustentante se encuentra **apto** para recibir el título profesional de **INGENIERO INDUSTRIAL**, conforme a Ley.

Piura, 07 de febrero del 2014

DR. VÍCTOR HUGO RAMÍREZ ORDINOLA  
PRESIDENTE - JURADO CALIFICADOR

ING. FÉLIX VICTORIANO HEREDIA CALVO, MSc.  
VOCAL - JURADO CALIFICADOR

ING. DUBERT REYES VÁSQUEZ, MSc.  
SECRETARIO - JURADO CALIFICADOR

## **DEDICATORIA**

**“Con todo cariño a mis padres y a todas aquellas personas  
que experimentan alegría al verme feliz”**

## **RESUMEN**

Dentro de la fabricación de papel tissue, se desarrolla el proceso de corte, el cual, utiliza como insumo Cuchillas Chromalit circulares acero D2. En los últimos meses, desde Julio 2012, se observa claramente desviaciones del consumo de estas cuchillas por encima del 30 % respecto a los meses anteriores llegando a consumir en promedio 51 cuchillas/mes, por lo que se decide aplicar la metodología seis sigma para reducir el consumo de cuchillas sin que esto implique alterar la producción y/o producto.

Con el desarrollo de las cinco fases propuestas por la metodología (Definición, Medición, Análisis, Mejora, Control), se identificó todo el proceso de corte así como sus variables más importantes, elevar el rendimiento de las cuchillas y finalmente reducir el consumo de cuchillas, a 29 cuchillas/mes, logrando un ahorro de USD 160,000 al año.

## **ABSTRACT**

For manufacturing of tissue paper, we develop the cutting process, which uses as input D2 steel circular blades Chromalit. In recent months, since July 2012, clearly consumption deviations of these blades is observed above 30% over the previous months reaching consume on average 51 blades / month, so we decide to apply Six Sigma methodology to reduce blades consumption without involving altered production and / or product.

With the development of the five phases proposed by the methodology (Definition, Measurement, Analysis, Improve, Control), all the cutting process was identified, including the most important variables and finally reduce the consumption of blades , 29 blades / month, achieving savings of USD 160,000 per year.

## INDICE GENERAL

INDICE GENERAL.....	i
INDICE DE FIGURAS .....	ii
INDICE DE TABLAS .....	1
CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.1.    DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.1.1.    REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	3
1.1.2.    JUSTIFICACIÓN IMPORTANCIA Y BENEFICIARIOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.1.3.    OBJETIVOS .....	4
1.1.4.    HIPÓTESIS .....	5
1.1.5.    Tipo de investigación .....	6
1.1.6.    Métodos e instrumentos de recolección de datos y análisis de datos .....	6
1.2.    DE LA EMPRESA .....	6
1.2.1.    Generalidades.....	6
1.2.2.    Descripción de la organización de la Planta .....	7
1.2.3.    Descripción del sistema de producción de papel .....	8
CAPÍTULO 2. LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA .....	15
2.1.    CALIDAD.....	15
2.1.1.    Definición.....	15
2.1.2.    Ingeniería de la Calidad .....	15
2.1.3.    Antecedentes de Calidad y Seis sigma .....	16
2.2.    SEIS SIGMA .....	18
2.2.1.    ¿Qué es Seis Sigma? .....	18
2.2.2.    ¿Porque el concepto Seis Sigma? .....	19
2.2.3.    La métrica Seis Sigma .....	20

2.2.4.	Calculo de Sigma del Proceso y su rendimiento.....	23
2.2.5.	Las fases DMAIC de Seis Sigma.....	24
2.2.6.	Fase DEFINICION.....	25
2.2.7.	Fase MEDICION.....	37
2.2.8.	Fase ANALISIS .....	67
2.2.9.	Fase MEJORA.....	80
2.2.10.	Fase CONTROL.....	90
<b>CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA “PROYECTO REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE CUCHILLAS EN EL PROCESO DE CORTE EN LA FABRICACION DE PAPEL TISSUE” .....</b>		<b>110</b>
3.1.	Metodología DMAIC: DEFINICION.....	110
3.1.1.	Estatuto del proyecto .....	111
3.1.2.	Voz del Negocio.....	115
3.2.	Metodología DMAIC: MEDICIÓN.....	118
3.2.1.	Descripción del proceso bloques y variables KPOV, KPIV. ....	118
3.2.2.	Evaluación Gage R&R .....	120
3.2.3.	Determinación de los costos de baja calidad, objetivo de reducción, ahorro estimado.....	122
3.2.4.	Determinación de la capacidad del proceso .....	123
3.2.5.	Determinación del nivel sigma actual y porcentaje de error .....	123
3.2.6.	Diagrama de Causa efecto.....	125
3.2.7.	Elaboración de Matriz FMEA o AMEF.....	126
3.3.	Metodología DMAIC: ANÁLISIS .....	128
3.3.1.	Determinación de las Causas Raíces.....	128
3.3.2.	Grafico Multi-vari para las variables mecánico y proveedor.....	128
3.3.3.	Análisis de causa raíz Por Proveedor .....	129
3.3.4.	Análisis de causa raíz Por Mecánico .....	130

3.3.5. Análisis de causa raíz (Correlación) para Longitud de cuerda, Frecuencia de Afilado, Tiempo de Afilado y RPM de Cuchilla.....	132
3.3.6. Análisis de causa raíz (Regresión) para Longitud de cuerda, Frecuencia de Afilado, Tiempo de Afilado y RPM de Cuchilla.....	133
3.4. Metodología DMAIC: MEJORAR .....	134
3.4.1. Diseño Experimental DOE ( $2^k$ ) .....	135
<b>CAPÍTULO 4. PLAN PILOTO Y RESULTADOS: MEJORA Y CONTROL.....</b>	<b>144</b>
4.1. Plan Piloto.....	144
4.2. Procedimientos .....	152
4.3. Metodología DMAIC: CONTROLAR.....	153
4.4. Transferencia del proyecto al dueño del proceso .....	155
4.5. Control operativo y financiero .....	156
4.5.1. Gráficas de control de las variables críticas .....	156
4.5.2. Mecanismos de control .....	158
4.5.3. Ahorro y control financiero .....	160
4.6. Impacto del tiempo de cambio de cuchilla sobre el ahorro de cuchillas .....	161
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>162</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>164</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>166</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>167</b>



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Organigrama de la Gerencia de Planta .....	7
Figura 2: Diagrama de Operaciones Manufactura .....	10
Figura 3: Diagrama de Operaciones Conversión .....	14
Figura 4: Distribución Normal Segmentada en PPM por nivel sigma .....	21
Figura 5: Distribución normal centrada. ....	21
Figura 6: Corrimiento de $1.5\sigma$ en el Largo Plazo .....	22
Figura 7: Fases de la Metodología DMAIC .....	25
Figura 8 Herramientas en la Fase de Definición .....	26
Figura 9: Factores involucrados en un Proceso.....	31
Figura 10: Ejemplo Diagrama SIPOC.....	32
Figura 11: Quality Function Deployment (QFD).....	33
Figura 12: Modelo KANO .....	34
Figura 13: Herramientas en la Fase de Medición.....	38
Figura 14: Ejemplo Histograma .....	45
Figura 15: Diagrama de Caja .....	45
Figura 16: Símbolos para la elaboración de Mapas de Procesos .....	46
Figura 17: Diagrama Pareto .....	48
Figura 18: Diagrama Causa Efecto o Ishikawa.....	49
Figura 19: Ejemplo de Diagrama de Árbol .....	51
Figura 20: Diagrama de Relaciones .....	53
Figura 21: Fuentes de Variación .....	56
Figura 22: Repetitibilidad.....	57
Figura 23: Reproducibilidad.....	57
Figura 24: Presentación de errores de medición. ....	58
Figura 25: Sesgo.....	59
Figura 26: Distribución Normal .....	60
Figura 27: Tipos de Variación de la Distribución Normal.....	61
Figura 28: Distribución Normal en niveles de sigma y % .....	61
Figura 29: Distribución Normal en niveles de Z.....	62

Figura 30: $p$ = porcentaje de medidas bajo la curva de probabilidad fuera de especificaciones.	63
Figura 31: Distribución Normal con promedio centrado y desviación reducida .....	64
Figura 32: Herramientas en la Fase ANALISIS.....	67
Figura 33: Tipos de Correlación.....	72
Figura 34: Tipos de Hipótesis .....	78
Figura 35: Herramientas en la Fase MEJORA.....	81
Figura 36: Diseño Experimental $2^2$ .....	86
Figura 37: Herramientas en la Fase CONTROL .....	91
Figura 38: Representación cíclica de la Metodología DMAIC .....	92
Figura 39: Diferentes casos de control de proceso.....	93
Figura 40: Ejemplo de un plan de Control .....	96
Figura 41: Patrones fuera de control .....	101
Figura 42: Mapa de proceso de la fabricación de papel tissue.....	114
Figura 43: Diagrama de Pareto de motivos de pérdidas de línea de Conversión.....	115
Figura 44: VOB Voz del Negocio del proceso de corte.....	116
Figura 45: Diagrama SIPOC del proceso de corte .....	116
Figura 46: Cortadora de LOGs.....	117
Figura 47: Descripción por bloques del proceso. ....	118
Figura 48: Cuchilla de corte y herramienta de medición. ....	119
Figura 49: Software de comunicación a la máquina. ....	120
Figura 50: Piedras de afilación .....	120
Figura 51: Resultados Gage R&R.....	121
Figura 52: Resultados de R&R.....	122
Figura 53: Capacidad de Proceso antes de la mejora .....	123
Figura 54: Nivel Six Sigma y % de error antes de la mejora .....	124
Figura 55: Diagrama causa efecto sobre el exceso de consumo de cuchillas .....	125
Figura 56: Grafica de Multi-vari para proveedor y mecánico.....	129
Figura 57: Prueba de Normalidad para Mecánico.....	131
Figura 58: Test de Bartlett para prueba de igualdad de varianzas .....	131
Figura 59: Grafica de Residuales .....	132
Figura 60: Gráfica matriz .....	133

Figura 61: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados .....	137
Figura 62: Grafica de residuales 4 en 1 .....	139
Figura 63: Efectos Principales para Cortes/Cuchilla.....	140
Figura 64: Grafica de Interacción para cortes/Cuchilla .....	140
Figura 65: Gráfica de cubos para Cortes/Cuchilla .....	141
Figura 66: Gráfica normal de efectos estandarizados .....	141
Figura 67: ANOG (Análisis of Good) de Cortes / Cuchilla .....	142
Figura 68: Gráfica de variables Múltiples para Cortes/Cuchilla.....	142
Figura 69: Optimización de respuesta de cortes / cuchilla.....	143
Figura 70: Gráfica de contorno de cortes / cuchilla vs RPM, frecuencia de afilado.....	143
Figura 71: Gráfica de control de Plan Piloto del Proceso de Corte de Papel .....	144
Figura 72: Capacidad del Proceso Piloto Mejorado.....	145
Figura 73: % de error y nivel Sigma del piloto mejorado .....	146
Figura 74: Gráfica de Capacidad de Proceso Antes y Después de la Mejora .....	148
Figura 75: % Error y Nivel Sigma Antes y Después de la Mejora .....	149
Figura 76: Control del Proceso de Cortado de papel Antes y Después de la Mejora .....	150
Figura 77: Histograma de Cortes de Cuchilla Antes y Después de la Mejora .....	151
Figura 78: Estandarización de cambio de cuchilla.....	152
Figura 79: Aplicación electrónica para el registro de variables .....	152
Figura 80: Carta de control-cantidad de cortes por cuchilla .....	157
Figura 81: Carta de control para la variable cuerda .....	157
Figura 82: Carta de control para la variable RPM .....	158
Figura 83: Diferencia entre el buen y mal estado de Piedras de afilación .....	158
Figura 84: Corrección de Ubicación de las Piedras de afilación.....	159
Figura 85: Certificado de dureza requerida para la cuchilla .....	160
Figura 86: Método 1 y 2 para calcular el nivel sigma del proceso.....	175

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Porcentaje Requerido para aumentar nivel sigma.....	20
Tabla 2: DPMO por nivel sigma .....	20
Tabla 3: Porcentajes y cantidad de defectos a los que corresponden los diferentes niveles “Sigma” .....	23
Tabla 4: Diferencias entre Rendimientos .....	24
Tabla 5: Variables dependiente, independiente y de ruido. ....	39
Tabla 6: Herramientas Estadísticas .....	42
Tabla 7: Tipos de muestreos.....	55
Tabla 8: Tipos de Experimentos.....	84
Tabla 9: Ventajas entre Gráficos de control por variables y atributos .....	99
Tabla 10: Campos de aplicación de los Gráficos de Control .....	100
Tabla 11: Evolución Consumo Cuchillas.....	111
Tabla 12: Estatuto del proyecto.....	111
Tabla 13 : Plan detallado DMAIC.....	117
Tabla 14: Variables principales de entrada .....	119
Tabla 15: Evaluación Gage R&R.....	120
Tabla 16: Cálculo de ahorro estimado.....	122
Tabla 17: Matriz FMEA del proceso.....	127
Tabla 18: Principales Variables de entrada .....	128
Tabla 19: Pruebas de hipótesis de las variables principales.....	128
Tabla 20: Resultados Prueba T- dos muestras para Proveedor .....	129
Tabla 21: Resultados ANOVA-una dirección, para Mecánico .....	130
Tabla 22: Correlaciones: Cortes, Fi_Cortes, T_Afilado, RPM, Cuerda .....	132
Tabla 23: Regresión Longitud de cuerda, Frecuencia de Afilado, Tiempo de Afilado y RPM de Cuchilla .....	134
Tabla 24: Factores y niveles de especificación: Diseño factorial $2^K \gg 2^3$ .....	135
Tabla 25 : Diseño Factorial completo .....	135
Tabla 26: Datos del Diseño factorial .....	136
Tabla 27: Ajuste factorial Cortes/Cuchilla vs. Frecuencia, RPM, Cuerda.....	137

Tabla 28: Coeficientes estimados para Cortes/cuchilla utilizando datos en unidades no codificadas.....	138
Tabla 29: Valores óptimos para la prueba Piloto .....	144
Tabla 30: Plan de control de Proyecto .....	153
Tabla 31: Acta de entrega de proyecto.....	155
Tabla 32: Ahorro financiero .....	160
Tabla 33: Cuadro de control financiero.....	161
Tabla 34: Impacto del tiempo de cambio de cuchilla.....	161
Tabla 35: Constantes D4, D3, A2 para calcular los límites de control .....	177

## **CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Actualmente una de las preguntas más importantes, sobre cómo tener éxito y superar a la competencia, nos lleva rápidamente a hablar de objetivos de reducción de costos, reducción del tiempo de entrega, tiempos de fabricación e incremento de la calidad o satisfacción del cliente, estos objetivos que reinan en las mentes de los directores y gerentes de la alta dirección, son la suma de objetivos más pequeños que muchas veces pasan desapercibidos en el control diario de la producción y terminan ocultos dentro de algún centro de costo contable, donde rara vez nos atreveremos a admitir que estamos gastando dinero en mantener errores a diario.

La empresa dedicada a la fabricación de papel tissue no es la excepción a la regla, donde existen 5 líneas de producción de papel higiénico, una de éstas produce uno de los principales productos de la unidad de negocio de gran participación en el mercado, dentro del cual, el proceso de corte es responsable de una característica crítica para la calidad en el producto final.

El proceso de corte utiliza como insumo Cuchillas Chromalit circulares acero D2, que en los últimos meses, desde el mes de Julio 2012, se observa claramente desviaciones del consumo de estas cuchillas por encima del 30 % respecto a los meses anteriores llegando a consumir en promedio 51 cuchillas/mes con un rendimiento de 450,000 cortes/cuchilla, y entre 50-55 % menos respecto al benchmarking de la compañía en el mundo y el indicador de productos defectuosos por mal corte representa un 2 % de la producción que se estima podría llegar a 16 Toneladas al mes, lo que se traduciría en un costo de más de 30 000 USD mensuales por reproceso.

El siguiente trabajo representa la aplicación de la metodología *seis sigma*, el cual en el camino por reducir el consumo de cuchillas y mejorar el proceso de corte

se encontrará con múltiples obstáculos que serán descubiertos uno a uno dentro de la metodología seis sigma.

### **1.1.2. JUSTIFICACIÓN IMPORTANCIA Y BENEFICIARIOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Este estudio tiene como principal finalidad, reducir los problemas del negocio evidenciados en el área de corte, consumo elevado de cuchillas, tiempos muertos y mala calidad, así mismo demostrar que la aplicación de técnicas estadísticas sobre los datos recopilados en cualquier proceso, para la solución de problemas, nos ofrecerá una solución inequívoca si se desarrolla de una manera lógica, equilibrada y sostenible como lo plantea Seis Sigma, una traducción adecuada del comportamiento del proceso nos permite conocerlo más a fondo, para poder actuar sobre el mismo y modelarlo de acuerdo a los objetivos de la organización.

La investigación brindará también una caracterización más profunda del proceso, y sus variables que interactúan dentro del él, así mismo dará a conocer los valores o rangos de estas variables que garanticen una respuesta o salida, que debe controlarse y mantenerse.

Así mismo, este estudio se desarrolla alineado a los objetivos principales de la organización como lo es la reducción de los gastos operativos, la visión de ser una compañía de clase mundial, con eficiencias de línea por encima del 85%.

### **1.1.3. OBJETIVOS**

#### **1.1.3.1. Objetivo General**

Aplicar la metodología Seis Sigma en el proceso de corte para reducir el consumo de cuchillas.

#### **1.1.3.2. Objetivos Específicos**

1. Identificar el proceso y todos los agentes involucrados, principalmente la salida o respuesta debidamente cuantificada.
2. Establecer la línea base del proyecto, y generar un plan de mediciones de las variables claves del proceso.
3. Desarrollar la matriz de Análisis de Modos de fallas y efectos (FMEA) identificando las causas raíz encontradas en la matriz.
4. Determinar los efectos de las variables clave en la salida utilizando la herramienta de Diseño de Experimentos (DOE), estableciendo los valores y ajustes de los factores a los niveles que maximicen el proceso.
5. Desarrollar el plan de control del proceso, determinando indicadores de mejora del proceso productivo (análisis de capacidad y % de error del proceso mejorado)

#### **1.1.4. HIPÓTESIS**

##### **1.1.4.1. Hipótesis general**

Con la aplicación de la metodología Seis Sigma se logra reducir el consumo de cuchillas en el proceso de corte en la fabricación de papel tissue, aumentando la cantidad de Cortes por cuchilla.

##### **1.1.4.2. Hipótesis específicas**

1. Las principales causas que afectan al proceso de corte son, la frecuencia de afilado, Tiempo de afilado, RPM de la cuchilla, Cuerda de Contacto, Marca de Cuchilla, Mecánico.
2. La Variación de la respuesta, el número de cortes por cuchillas, se ven afectada por la frecuencia de afilado, Tiempo de afilado, RPM de la cuchilla, Cuerda de Contacto, Marca de Cuchilla, Mecánico, en cierto porcentaje.



#### **1.1.5. Tipo de investigación**

Según lo planteado por J Hurtado (2007) el tipo de investigación se define con base en el objetivo general. La investigación para este estudio es de tipo descriptiva y proyectiva, pues se asocia al diagnóstico, hace enumeración de las características del evento de estudio y propone soluciones sobre una situación determinada a partir de un proceso de indagación

#### **1.1.6. Métodos e instrumentos de recolección de datos y análisis de datos**

La Metodología seis sigma, nos ofrece un abanico de herramientas tanto para la recolección de datos (plan de muestro), como para el análisis de las mismas. Adicionalmente se usaron las bases de datos de la organización en estudio como entrada de las herramientas de la etapa inicial.

Herramientas como los estudios Gage R & R, DOE (Diseño de experimentos), o Regresión serán descubiertos a medida que se desarrolle el proyecto de aplicación de la metodología seis sigma, cabe resaltar que el uso del software Minitab en su versión 16, es un soporte fundamental para la ejecución.

### **1.2. DE LA EMPRESA**

#### **1.2.1. Generalidades**

El Core Business de la Empresa se centra en la elaboración y comercialización de productos destinados al cuidado personal (pañales para bebés, toallas higiénicas, pañales para adultos, etc.) y al cuidado familiar (toallas, higiénicos, faciales).

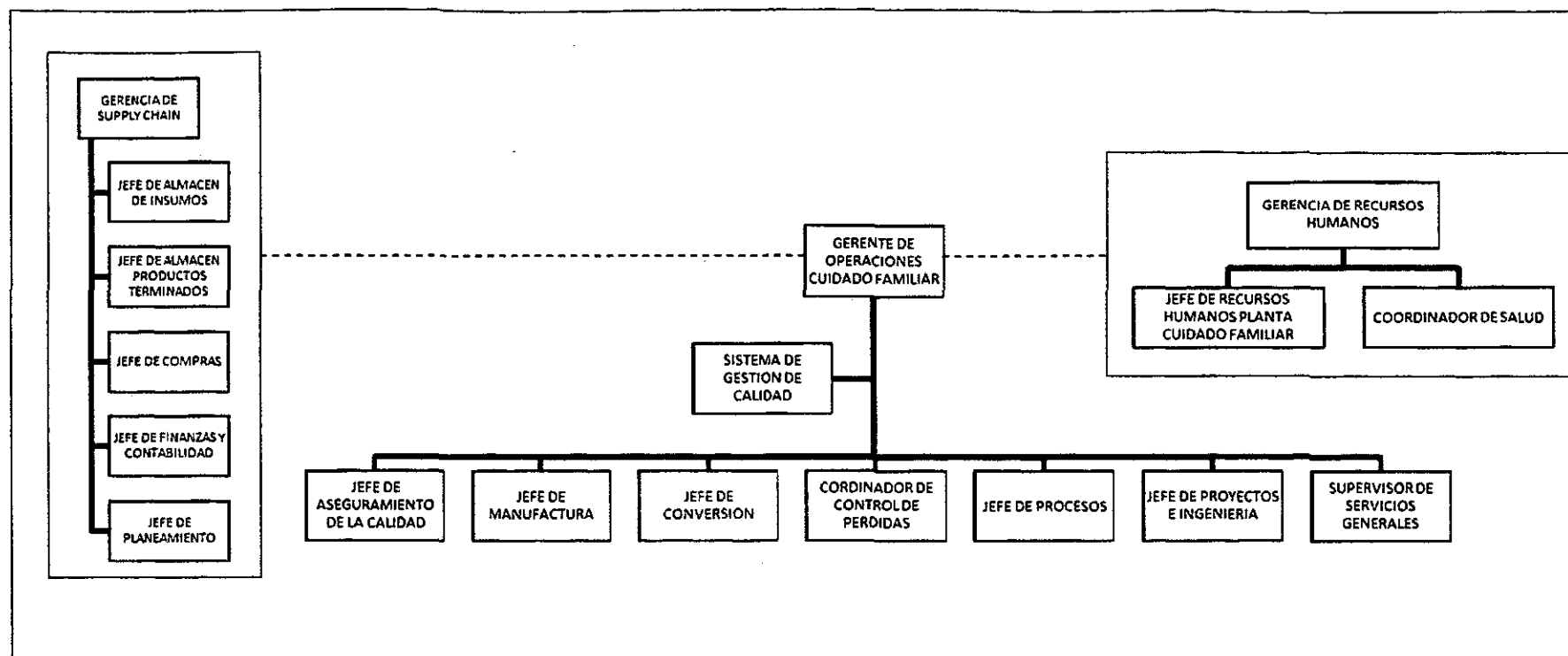
La Planta en estudio se dedica a la elaboración de productos a base de papel para el cuidado de la salud familiar. La Planta es administrada por la gerencia de Operaciones para la categoría del cuidado Familiar. Otras gerencias que se encuentran en la planta en estudio son: G.Logística (Supply Chain) y G. Recursos Humanos. Asimismo, cumpliendo con la política integrada de la Empresa, la Planta cuenta con sistemas de gestión que dan soporte a las actividades de la misma. Estos son: Sistema de Gestión de la Calidad (ISO

9001), Seguridad Industrial (Control de Pérdidas), Departamento de Salud (dependiente de RR.HH) y Sistema de Gestión Ambiental (ISO 14001). Estos sistemas de gestión también dan el soporte en la planta para los productos de cuidado personal (Pañales, toallas higiénicas). Asimismo, cada planta posee un responsable para el cumplimiento de los procesos productivos por objetivos Centerlining. Éste último constituye una herramienta muy importante para *procurar operar con las variables de proceso adecuadas (objetivo)*. Sin embargo, no siempre el mantener las variables del proceso en el rango establecido equivale a lograr una misma calidad en el producto, esto debido a variaciones inherentes de los insumos, materia prima u otros. Es aquí donde debe intervenir el área de calidad.

#### **1.2.2. Descripción de la organización de la Planta**

La Planta posee dos grandes bloques productivos: Manufactura y Conversión. En la primera, las fibras de papel virgen y reciclado ingresan a las líneas de producción y tiene como producto final las bobinas grandes de papel base. En la segunda, las bobinas de Manufactura ingresan a las líneas de conversión para obtenerse como producto final los diferentes artículos para el cuidado familiar. Como se puede apreciar en la figura 2.1., la Planta posee otras áreas funcionales que dan soporte a las dos secciones productivas: Procesos, que se encarga de gestionar y administrar todos los procesos de soporte de las líneas de producción como son: el tratamiento de efluentes, abastecimiento y control de químicos e insumos, abastecimiento y control de energía y evaluación por objetivos Centerlining; Proyectos, que se encarga de la evaluación de las oportunidades de mejora encontradas en el proceso o en la planta y analiza las alternativas más adecuadas y gestiona su implementación; y Aseguramiento de la Calidad, que analiza la materia prima y los productos (terminados y en proceso), siguiendo estándares pre-establecidos, para procurar ofrecer al consumidor un producto que sea de su completa satisfacción. A éstas áreas se suman los sistemas de gestión, el departamento de servicios generales y las áreas que conforman las

distintas gerencias de Supply Chain (Compras, facturación) y RR.HH (Jefatura RR.HH en planta, departamento médico) en planta. La programación de la producción es realizada por la gerencia de Supply Chain.



**Figura 1: Organigrama de la Gerencia de Planta**

Elaboración Propia

### **1.2.3. Descripción del sistema de producción de papel.**

En general, el proceso de producción se podría dividir en dos secciones, una que consiste en todas las operaciones de manufactura y la otra consistente en la conversión en sí de la hoja base obtenida de la manufactura en producto final listo para ser utilizado para el fin con el que ha sido creado. Algunas organizaciones y autores consideran tres secciones, incluyendo las dos anteriormente mencionadas y las operaciones de elaboración de pulpa, a partir de ahora llamadas operaciones de Destintado. Sin embargo, para efectos de esta tesis, estas operaciones se incluirán entre las operaciones de manufactura.

#### **1.2.3.1. Manufactura de pulpa y rollo duro**

En el área de Manufactura, se pueden distinguir dos sub-áreas: Destintado, que incluye todas las operaciones de blanqueo y elaboración de pasta de papel; y Manufactura propiamente dicha, que incluye las operaciones de formación de rollo duro (hoja base). Como se puede apreciar en la figura 2.2, el proceso comienza con la recepción de la fibra y su inspección para la determinación de la calidad de fibra a partir del % de humedad, % de fibra mecánica, desfibrado, % de cenizas, etc.

La primera operación productiva en la sub-área de Destintado es la molienda, en donde las pacas son ingresadas a la máquina Pulpadora (Pulper), agitador helicoidal que permite el desfibrado del papel, el mezclado con químicos y la remoción de contaminantes grandes (mayor a 6 mm de diámetro).

Esta operación se da durante 18-20 minutos aproximadamente, agregando agua frecuentemente en ese lapso. Es aquí donde la fibra se convierte en pasta. La fibra del Pulper es llevada a la pera. Aquí es tamizada y separada de materiales sólidos como alambres y plásticos.

Luego, se lleva al proceso de depuración gruesa. Se separan partículas grandes que vienen con la fibra (menor a 6 mm de diámetro).

La pasta, posteriormente, llega a una celda especializada donde se separan la pasta de tintas y gomas mediante el proceso de Flotación.

Posteriormente, la pasta se forma en papel. En este proceso también se agrega la pasta de fibra brokeada (merma y papel producido defectuoso). Para ello, debe pasar primero por varias bandas de material sintético tejido y luego por un fieltro (tela formadora), para que pueda eliminarse la humedad excedente. Las condiciones de la tela determina en gran parte la calidad del papel, evitando varios defectos en atributos como marcas de fieltro, porosidad, mala formación, grumos, etc. Asimismo, el alimentador de pasta, a todo el ancho de la hoja, debe estar libre de cualquier obstrucción, caso contrario se pueden generar variaciones en el calibre a lo largo de la hoja, grumos, variaciones en peso base o variaciones en resistencia.

El papel pasa por un proceso de secado. Acá, la hoja es conducida hasta un cilindro previamente calentado (Yankee). Además recibe chorros de aire caliente que permiten que termine el proceso de secado eliminando los últimos rastros de humedad.

El papel seco llega al Crepado, en donde la hoja de papel es sometida a un proceso de microplegado o arrugado para darle la característica de la absorción. En condiciones subestándares, se pueden producir defectos en la hoja en atributos por mal crepado, como son agujeros dispersos, longitudinales, arrugas, etc. y afectar algunas variables de desempeño del papel como resistencia y elongación.

El papel crepado es bobinado en el Pope. Terminada la bobina, se realiza la inspección de calidad respectiva. De ser aceptada la bobina, es destinada al almacén de bobinas. Caso contrario, es brokeada, es decir, descartada y llevada a reciclaje. Las variaciones en el bobinado pueden afectar también la resistencia y elongación de la hoja. Asimismo, una baja resistencia o altas velocidades de bobinado pueden ocasionar roturas de hoja (empalmes) o telescopiado de bobinas.

Asimismo, el área de Manufactura posee una línea de soporte para la clarificación del agua, en donde se clarifica el agua a utilizar en el proceso a partir de agua fresca y agua de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI).

#### **1.2.3.2. Conversión de rollo duro en producto terminado**

En el área de Conversión se pueden distinguir dos secciones de producción: una para papel higiénico y otra para servilletas. Algunas plantas pueden tener otra sección para toallas faciales que produce papel más fino (100% fibra de celulosa virgen). Asimismo,

cada sección se encuentra dividida en líneas de producción por máquina. En la figura 2.3, se muestra el proceso productivo de un paquete de papel higiénico X de 16 rollos. El proceso comienza con la recepción de la bobina de papel en la línea respectiva (servilleta, papel higiénico).

Una vez recibida, es desbobinada en las máquinas que se encargarán de elaborar los rollos.

La hoja de papel pasa por el gofrado, proceso por el cual se genera altorrelieve al papel en un cilindro de acero y decorado que permitirá juntar las dos hojas (en papel higiénico doble hoja), y aumentar la capacidad de absorción y mejorar la suavidad.

Asimismo, simultáneamente al gofrado, se le aplican tintas para resaltar la figura y un proceso para que los pliegos se mantengan juntos (laminado). Una falla en los rodillos gofradores o en la calidad de la hoja puede ocasionar defectos como separación de hoja, gofrado defectuoso u orificios en la hoja. En esta etapa se evalúan los logs de papel para inspeccionar los atributos en la hoja.

Luego, el papel es llevado al rebobinado, en donde se enrollan en largos cilindros de papel (logs), alrededor de largos tucos de cartón.

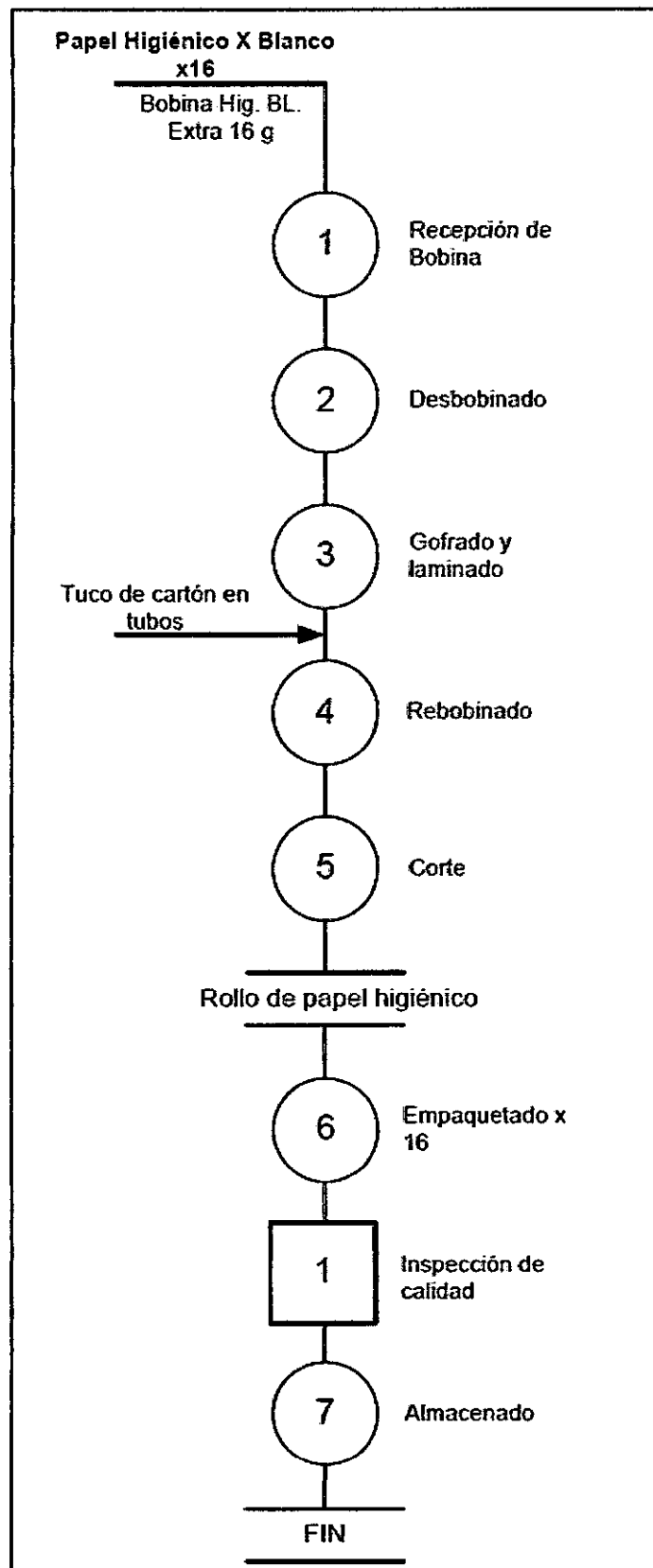
Estos cilindros son cortados por una cuchilla rotatoria. Cada rollo cortado tiene alrededor de 2.75 metros de papel aproximadamente. Cuando las piedras afiladoras en el módulo de corte son posicionados de manera incorrecta o la cuchilla ha perdido filo, es frecuente observar rollos con mal corte, baja firmeza, tucos maltratados, etc. En esta etapa se evalúan todos los atributos referentes a los rollos.

El papel es empaquetado manualmente en paquetes de 2, 4, 6, 8, 12, 16 ó 24 unidades. (Envasadora multiformato). El envasado normalmente deja una pequeña oreja de polietileno como resultado del sellado. Uno de los defectos más comunes es que esta oreja llega a ser muy vistosa, lo cual genera problemas de presentación.

Asimismo, se procura que el registro del empaque se encuentre centrado y alineado con el producto. Es en esta etapa donde se evalúan todos los atributos referentes al empaque primario y secundario del producto. En esta etapa, los inspectores de calidad obtienen muestras para la inspección de calidad correspondiente. Finalmente, los paquetes de papel son almacenados en pallets para su manipulación y traslado al almacén de APT.

Para el caso de toallas, la secuencia es sustancialmente la misma, mientras que para servilletas tienen un proceso de doblado, en vez del rebobinado en logs.





**Figura 3: Diagrama de Operaciones Conversión**  
Elaboración Propia

## **CAPÍTULO 2. LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA**

### **2.1. CALIDAD**

#### **2.1.1. Definición**

Según Juran (1990), la Calidad refiere a la característica o conjunto de características de un producto que cumple con los requerimientos del consumidor y, por tanto, le entrega satisfacción. En este sentido, una calidad más alta se obtiene cuando posee mejor capacidad de satisfacer las necesidades del consumidor; sin embargo, esta calidad superior a su vez implica mayores costos. Por otro lado, el mismo autor menciona que bien puede ser definida como la ausencia de deficiencias, en cuyo caso, se ahorrarían reprocesos y correcciones, lo que implica al final una reducción significativa en costos.

Según la norma internacional ISO 9000:2005, la Calidad se define como el grado o medida en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos. Estos requisitos son, a su vez, definidos como necesidades o expectativas.

#### **2.1.2. Ingeniería de la Calidad**

Montgomery (2001) nos da un concepto más moderno, quien nos define a la Calidad como inversa proporcional a la variabilidad (referida a la variabilidad no deseada).

La ingeniería de la calidad es un conjunto de actividades operacionales, administrativas y de ingeniería que una compañía lleva a cabo para asegurar que las características de la calidad de un producto se encuentren en los niveles nominales o requeridos. Muchas organizaciones encuentran muy difícil y caro proveer a sus clientes y consumidores con productos que sean idénticos entre cada uno o que siempre cumplan las expectativas del cliente. La principal causa de esto es la variabilidad. Todos los productos poseen cierta cantidad de variaciones; de hecho, no existe en el mercado dos productos completamente iguales. *Si la variación es leve, generalmente no tiene ningún impacto en el cliente; sin embargo, cuando es considerable, el cliente puede percibir dicha diferencia y puede considerarlo como indeseado, inaceptable o generar falsas expectativas en su próximo consumo.* Algunas fuentes de esta variabilidad incluyen diferencias en materia prima e insumos, diferencias en el desempeño de los equipos utilizados y diferencias en la manera de operarlos por los operadores.

Es muy común clasificar las características de los productos en variables y atributos. Los primeros, generalmente son datos continuos, que arrojan un resultado cuantificado producto de una medición de una característica de un producto, por ejemplo, el peso de un rollo de papel higiénico; mientras que los atributos son datos generalmente discretos, que generalmente se analizan mediante el conteo. Para ambos existen métodos y herramientas para controlarlos.

La calidad suele ser evaluada respecto a las especificaciones que da el fabricante. En un proceso de manufactura, las especificaciones son los valores deseados de las características de un producto y sus componentes. La medida que corresponde al valor óptimo de una cierta característica se llama valor objetivo (o Target). Estos valores generalmente oscilan entre un rango que son lo suficientemente cercanos al valor objetivo para no afectar la calidad (en cualquiera de sus dimensiones).

### **2.1.3. Antecedentes de Calidad y Seis sigma**

La empresa de finales de los ochenta parece haber encontrado su nuevo credo: el de la calidad total. Las empresas que se limitaban a hacer el control a posteriori de su única calidad presentaron la quiebra una tras otra. Las empresas de hoy si quieren sobrevivir, deben trabajar para sus clientes más que para sí misma.

Philip Crosby popularizó el concepto de Cero Defecto como orientación para el control de calidad. Este enfoque establece la meta de resultados que carezcan de errores al 100 por ciento. Crosby sostiene que si se establece un nivel “aceptable” de defectos, ello tiende a provocar que dicho nivel (o uno más alto) se conviertan en una profecía que se cumple; Si los empleados saben que está “bien” trabajar dentro de un nivel determinado de errores, llegarán a considerar que ese nivel es la

“normal”. Es evidente que dicha “normal” está por debajo de lo óptimo. Crosby sostiene que a las personas se le establecían estándares de desempeño mucho más holgados en sus trabajos que lo que regían sus vidas personales. “Ellos esperaban hacer las cosas bien, cuando se trataba de sostener a un bebé, de pagar las facturas o de regresar temprano a la casa correcta. En cambio, en los negocios se les fijaban “niveles aceptables de calidad”, márgenes de variación y desviaciones.

La idea de un “porcentaje de error aceptable” (a veces denominado un “nivel de calidad aceptable”) es un curioso remanente de la era del “control” de calidad. En aquellos tiempos, se podían encontrar maneras de justificar estadísticamente las naturales fallas humanas, sosteniendo que nadie podía ser posiblemente perfecto. De modo que si el 100% es inalcanzable, ¿por qué no conformarse con el 99%, e incluso con el 95%? Entonces, si alcanzáramos el 96,642%, podríamos dar una fiesta y celebrar el hecho de haber superado los objetivos. La cuestión es que el 96,642% significa que de 100.000 transacciones efectuadas por un servicio, 3.358 resultarían desfavorables. Como las fallas de uno entre mil paracaidistas. Los clientes insatisfechos, aquellos que habrían estado fuera del porcentaje de transacciones perfectas, no regresarían jamás.

En los años ochenta la TQM (Gestión de Calidad Total) fue muy popular, pero sufrió un proceso de desgaste y en muchas empresas de agonía; dando lugar ello a adoptar la metodología de Seis Sigma en función de tres características:

1. Seis Sigma está enfocado en el cliente.
2. Los proyectos Seis Sigma producen grandes retornos sobre la inversión. En un artículo de la Harvard Business Review, Sasser y Reichheld señalan que las compañías pueden ampliar sus ganancias en casi un 100% si retienen sólo un 5% más de sus clientes gracias al logro un alto grado de calidad.
3. Seis Sigma cambia el modo que opera la dirección. Seis Sigma es mucho más que proyectos de mejora. La dirección y los supervisores aprenden nuevos enfoques en la forma de resolver problemas y adoptar decisiones.

La historia de Seis Sigma se inicia en Motorola cuando un ingeniero (Mikel Harry) comienza a influenciar a la organización para que se estudie la variación en los procesos (enfocado en los conceptos de Deming), como una manera de mejorar los mismos. Estas variaciones son lo que estadísticamente se conoce como desviación estándar (alrededor de la media), la cual se representa por la letra griega sigma ( $\sigma$ ). Esta iniciativa se convirtió en el punto focal del esfuerzo para mejorar la calidad en Motorola, capturando la atención del

entonces CEO de Motorola: Bob Galvin. Con el apoyo de Galvin, se hizo énfasis no sólo en el análisis de la variación sino también en la mejora continua, estableciendo como meta obtener 3,4 defectos (por millón de oportunidades) en los procesos; algo casi cercano a la perfección.

## 2.2. SEIS SIGMA

### 2.2.1. ¿Qué es Seis Sigma?

Según Miguel Bahena Quintanilla, "Aplicación De La Metodología Seis Sigma Para Mejorar La Calidad, Seis Sigma es un enfoque completo y flexible para conseguir, mantener y maximizar el éxito en los negocios. 6 $\sigma$  funciona especialmente gracias a una comprensión total de las necesidades del cliente, del uso disciplinario del análisis de los datos y hechos, y de la atención constante a la gestión, mejora y reinención de los procesos empresariales.

La metodología fomenta en gran medida el trabajo en equipo, debido a que en la mayoría de las herramientas, el mecanismo para proponer ideas que nos conducen a la solución de problemas, es el resultado de la participación de todas las personas involucradas. La mejora continua de los procesos es el objetivo común de cada uno de los miembros. Es una forma de dirigir un negocio o un departamento. Seis Sigma pone primero al cliente y usa hechos y datos para impulsar mejores resultados. Los esfuerzos de Seis Sigma se dirigen a tres áreas principales:

- Mejorar la satisfacción del cliente
- Reducir el tiempo del ciclo y Mejorar el rendimiento
- Reducir los defectos

Las mejoras en estas áreas representan importantes ahorros de costes, oportunidades para retener a los clientes, capturar nuevos mercados y construirse una reputación de empresa de excelencia.

Podemos definir Seis Sigma como:

1. Una medida estadística del nivel de desempeño de un proceso o producto.

2. Un objetivo de lograr casi la perfección mediante la mejora del desempeño.
3. Un sistema de dirección para lograr un liderazgo duradero en el negocio y un desempeño de primer nivel en un ámbito global.

La letra griega minúscula sigma ( $\sigma$ ) se usa como símbolo de la desviación estándar, siendo ésta una forma estadística de describir cuánta variación existe en un conjunto de datos, es decir, obtener sólo 3.4 defectos por millón de oportunidades o actividades.

La metodología Seis Sigma, engloba técnicas de Control Estadístico de Procesos, Despliegue de la función de calidad (QFD), Ingeniería de calidad de Taguchi, Benchmarking, entre otras; siendo una sólida alternativa para mejorar los procesos y por lo tanto, lograr la satisfacción de los clientes.

La estrategia Seis Sigma incluye el uso de herramientas estadísticas dentro de una metodología estructurada incrementando el conocimiento necesario para lograr de una mejor manera, más rápido y al más bajo costo, productos y servicios que la competencia.

Se caracteriza por la continua y disciplinada aplicación de una estrategia maestra "proyecto por proyecto" tal como lo recomienda Joseph Juran en su trilogía de la calidad, donde los proyectos son seleccionados mediante estrategias clave de negocios, lo cual conduce a recuperar la inversión realizada y obtener mayores márgenes de utilidad. La gente que coordina los proyectos de Seis Sigma son comúnmente llamados: Black Belts, Green Belts, etc.

#### **2.2.2. ¿Porque el concepto Seis Sigma?**

Seis Sigma es una medida estadística que describe la distribución con respecto a la media de cualquier proceso o procedimiento. Todo proceso o procedimiento que alcance una capacidad de seis sigma (variabilidad tan pequeña que los límites de especificación coincidan con los límites de más/ menos seis veces la desviación estándar o sigma del proceso) puede esperar que su proceso sea capaz de producir con un índice de defectos de unas pocas partes por millón, aún y cuando la media del proceso cambien de posición con respecto al tiempo. En términos estadísticos esto casi alcanza el concepto de cero defectos.

### 2.2.3. La métrica Seis Sigma

El nivel sigma, es utilizado comúnmente como medida dentro del Programa Seis Sigma, incluyendo los cambios o movimientos “típicos” de  $\pm 1.5\sigma$  de la media. Las relaciones de los diferentes niveles de calidad sigma no son lineales, ya que para pasar de un nivel de calidad a otro, el porcentaje de mejora del nivel de calidad que se tiene que realizar no es el mismo, cuando avanzamos a un nivel mayor el porcentaje de mejora será más grande.

La tabla siguiente muestra el porcentaje de mejora requerido para cambiar de un nivel sigma a otro mayor.

Nivel actual	Cambio	Porcentaje de mejora requerido
3 $\sigma$	4 $\sigma$	10%
4 $\sigma$	5 $\sigma$	30%
5 $\sigma$	6 $\sigma$	40%

**Tabla 1: Porcentaje Requerido para aumentar nivel sigma**  
THOMAS PYZDEK, 2003 “Six Sigma Handbook”

En esta otra tabla se aprecia la cantidad de defectos por cada nivel sigma

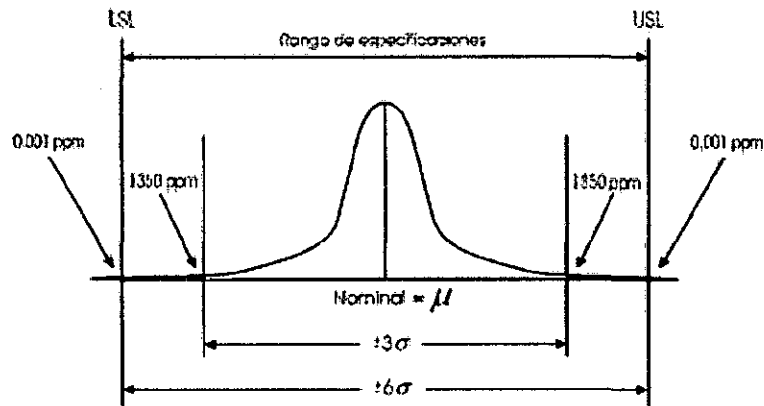
Nivel en sigma	Defectos por millón de oportunidades
6	3.4
5	233.0
4	6,210.0
3	66,807.0
2	308,537.0
1	690,000.0

**Tabla 2: DPMO por nivel sigma**  
THOMAS PYZDEK, 2003 “Six Sigma Handbook”

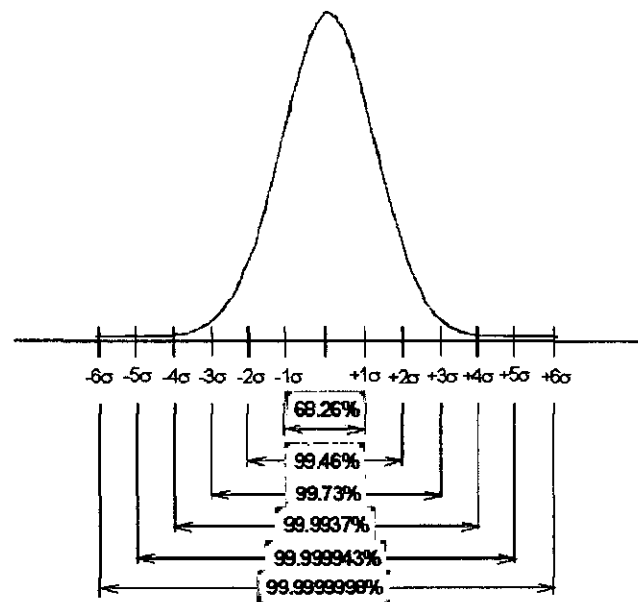
Realizando un comparativo del nivel de calidad sigma de varias empresas se determinó que el promedio de estas se encuentra en el nivel 4 $\sigma$ . Las empresas con nivel 6 $\sigma$  son denominadas de “Clase Mundial” (World Class). El objetivo de la implementación Seis Sigma es precisamente convertirse en una empresa de Clase Mundial.

En la figura se muestra el concepto básico de la métrica de Seis Sigma, en donde las partes deben de ser manufacturadas consistentemente y estar dentro del rango de especificaciones.

La distribución normal muestra los parámetros de los niveles tres sigma y seis sigma.



**Figura 4: Distribución Normal Segmentada en PPM por nivel sigma**  
MONTGOMERY (2004)



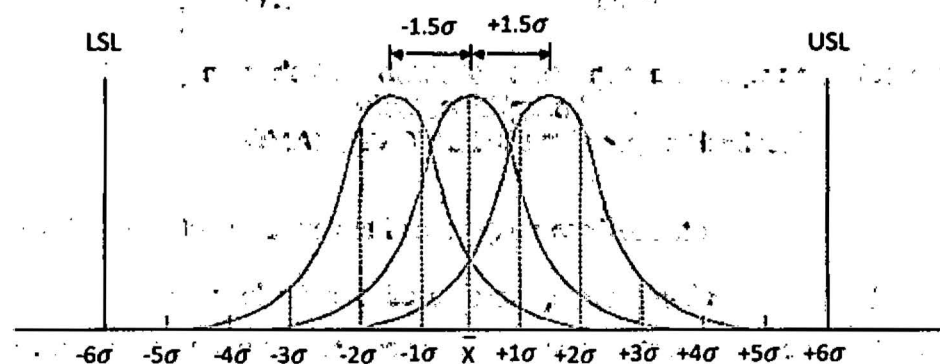
**Figura 5: Distribución normal centrada.**  
MONTGOMERY (2004)



Con la distribución normal centrada dentro de los límites  $6\sigma$ , se tendría únicamente una porción de 0.002 ppm.

Para compensar las inevitables consecuencias de los errores de centrado de procesos, la media de la distribución se desplazó  $\pm 1.5\sigma$ . Este ajuste proporciona una idea más realista de la capacidad del proceso a través de varios ciclos de manufactura.

El desplazamiento puede ser en dirección positiva o negativa, pero nunca en ambas direcciones.



**Figura 6: Corrimiento de  $1.5\sigma$  en el Largo Plazo**  
THOMAS PYZDEK, 2003 "Six Sigma Handbook"

Una medida que describe el grado en el cual el proceso cumple con los requerimientos es la capacidad del proceso. Los índices utilizados son  $C_p$  y  $C_{pk}$ . Un nivel Seis Sigma tiene la habilidad de lograr índices de 2.0 y 1.5 respectivamente. Para lograr esta capacidad la meta a alcanzar de un programa Seis Sigma es producir al menos 99.99966% de calidad, no más de 3.4 defectos en un millón de piezas producidas en el largo plazo.

Nivel en sigma	Porcentaje	Defectos por millón de oportunidades
6	99.99966	3.4
5	99.9769	233.0
4	99.379	6,210.0
3	93.32	66,807.0
2	69.13	308,537.0
1	30.23	690,000.0

**Tabla 3: Porcentajes y cantidad de defectos a los que corresponden los diferentes niveles "Sigma"**

THOMAS PYZDEK, 2003 "Six Sigma Handbook"

#### **2.2.4. Calculo de Sigma del Proceso y su rendimiento**

Los resultados y el número de defectos pueden medirse antes o después de que se detecten, corrijan o revisen los defectos. Los resultados se miden en % y el número de efectos en defectos por oportunidad (DPO) o defectos por millón de oportunidades (DPMO).

##### **2.2.4.1. Rendimiento al Final (YFT)**

Es la probabilidad de que una unidad pase el ensamble final con 0 defectos

$$YFT = (1 - DPO) * 100$$

##### **2.2.4.2. Rendimiento Real o Estándar (Y<sub>RT</sub>)**

Mide la probabilidad de pasar por todos los subprocesos sin un defecto, se determina con el producto del resultado de cada paso: YFP1 - YFP2 - YFP3 - .....YFPn. Es un rendimiento sensible a pasos y defectos en los pasos.

##### **2.2.4.3. Rendimiento Normal (Y<sub>N</sub>)**

El rendimiento normal mide el promedio de rendimientos por los pasos del proceso. Es el promedio exponencial basado en el número de pasos del proceso, no es un promedio aritmético.

$$Y_N = \sqrt[n]{Y_{RT}}$$

#### Diferencia entre $Y_{RT}$ y $Y_{FT}$

Rendimiento real o estándar ( $Y_{RT}$ )	Rendimiento al final ( $Y_{FT}$ )
Rendimiento tomado en cada paso del proceso (oportunidad)	Rendimiento al final del proceso
Rendimiento antes de la inspección o la prueba	Es el rendimiento después de la inspección o la prueba
Incluye retrabajo y desperdicio	Excluye el retrabajo y el desperdicio
Siempre $< Y_{FT}$	Siempre $> Y_{RT}$
Observa la calidad de todas las partes que conforman el producto terminado.	Sólo observa la calidad del producto terminado

**Tabla 4: Diferencias entre Rendimientos**  
**THOMAS PYZDEK, 2003 “Six Sigma Handbook”**

#### 2.2.4.4. Variación a largo plazo vs. Variación a corto plazo (Z-Value):

**Largo plazo ( $Z_{LT}$ ):** Son los datos tomados durante un periodo de tiempo suficientemente largo y en condiciones suficientemente diversas para que sea probable que el proceso haya experimentado todos los cambios y otras causas especiales.

$$Z_{LT} = \frac{\text{Límite de especificación} - \text{media}}{\text{Std Desv}_{LT}}$$

**Corto plazo ( $Z_{ST}$ ):** Son los datos tomados durante un periodo de tiempo suficientemente corto para que sea improbable que haya cambios y otras causas especiales.

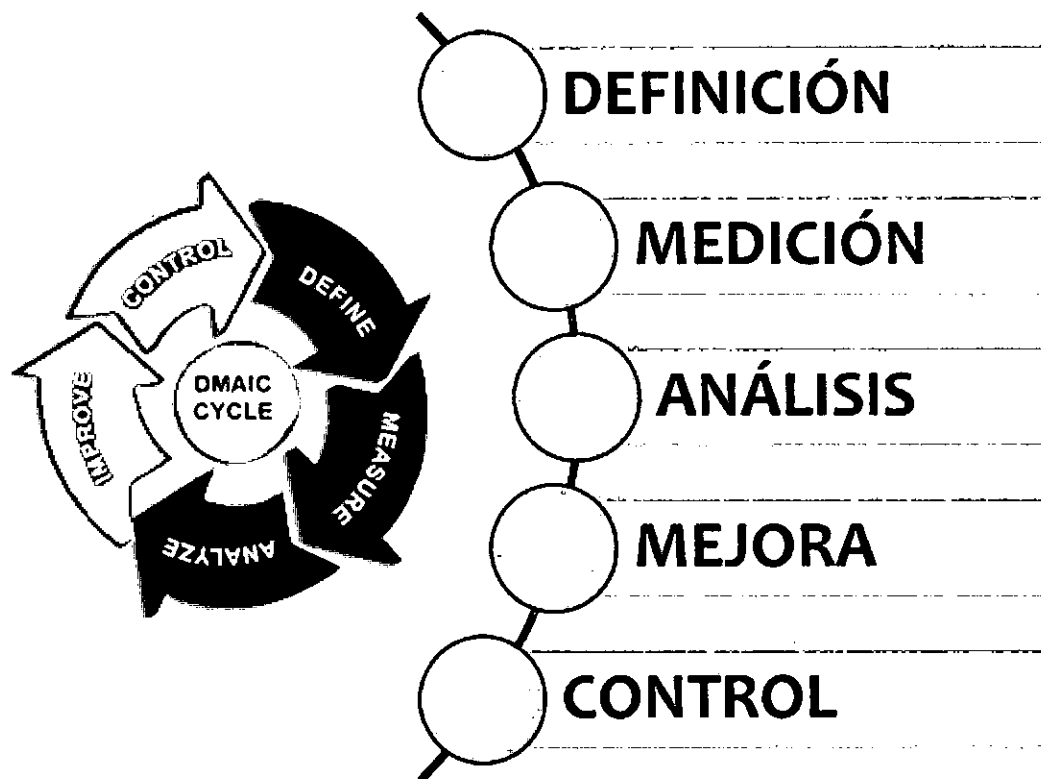
$$Z_{ST} = \frac{\text{Límite de especificación} - \text{media}}{\text{Std Desv}_{ST}}$$

Para el cálculo de datos a largo plazo a partir de datos a corto plazo restamos 1.5, debido a los desplazamientos que sufre la media debido al cambio natural en los procesos.

$$Z_{ST} = Z_{LT} + 1.5 \quad Z_{\text{Benchmark}} = Z_{YN} + 1.5$$

#### 2.2.5. Las fases DMAIC de Seis Sigma

La metodología Seis Sigma es un método disciplinado de mejora de los procesos conformado por las fases siguientes: Definición, Medición, Análisis, Mejora y Control (DMAIC), como se explican con más detalle a continuación:



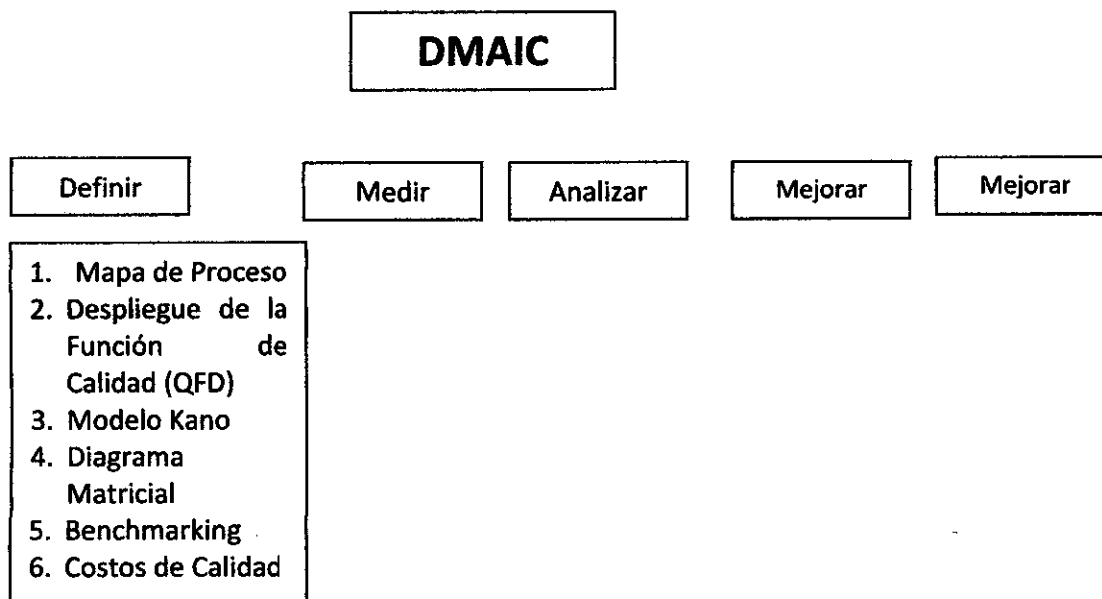
**Figura 7: Fases de la Metodología DMAIC**  
**BAHENA QUINTANILLA (2006)**

#### **2.2.6. Fase DEFINICION**

El propósito de esta fase es identificar el problema a resolver, estratificando tanto como sea posible, por ejemplo: reclamación de un cliente por falla, identificar la familia de productos por importancia mediante el uso del diagrama de Pareto, después identificar el producto, la línea donde se hace, el equipo específico, etc. En este momento ya se puede definir el problema y la oportunidad de mejora.

En esta fase la primera de la metodología de Seis Sigma, se trata de detectar cual es el problema, definir los CTQ's (Critico para la calidad) con base en la voz del cliente (VOC), el impacto que tiene para el negocio la realización del proyecto, las metas que se pretenden lograr, el alcance y los ahorros financieros.

Las Herramientas a utilizar pueden ser:



**Figura 8:Herramientas en la Fase de Definición  
BAHENA QUINTANILLA (2006)**

Los objetivos de esta fase son:

- Definición del problema
- Establecer el Alcance del proyecto
- Conocer el uso de las herramientas de la fase de definición

#### **2.2.6.1. Etapas de la fase de definición**

Según **THOMAS PYZDEK, 2003** en "*Six Sigma Handbook*" las etapas de la fase de definición son las siguientes:

##### **Identificación de clientes internos y externos:**

El primer paso en la definición de un proyecto es identificar cuáles son los clientes a los cuales el proceso impacta, se define como cliente interno a la persona o las personas siguientes en el proceso, esto es dentro de la compañía. Como se describe a continuación hay 2 tipos de clientes y son:

1. Cliente Interno: Es el personal interno afectado por el producto o servicio generado (siguiente operación).
2. Cliente Externo: Los clientes externos son todos aquellos a los que la empresa provee un producto o servicio, estos se dividen en usuarios finales, clientes intermediarios y otros que son impactados pero que no usan ni compran el producto
  - a. Usuarios finales: comprar o usan el producto para su uso.
  - b. Intermediarios: comprar el producto para su reventa, reempaque, modificación o ensamble final para venta al usuario final. Ejemplo: detallistas, distribuidores, mayoristas, etc.
  - c. Grupos impactados: no compran ni usan el producto pero son impactados por él, por ejemplo la comunidad, gobierno, padres, grupos civiles, etc.

**Determinar los CTQ's del proyecto:**

CTQ Critico para la calidad (Critical to Quality), es un atributo o característica de calidad de un producto o servicio que es importante para el cliente.

Nota: También existen otros conceptos como:

Características Críticas para la Entrega (CTD's)

Características Críticas para los Costos (CTO's)

Características Críticas para el Proceso (CTPs)

Características Críticas para la Satisfacción (CTS's)

Características Críticas para el Control (CTC's)

Tanto en los CTQ, CTD y CTC el objetivo para la empresa es reducir los costos, aumentar la satisfacción del cliente y aumentar las utilidades.

Para determinar los CTQ, tenemos que conocer la voz del cliente interno o externo (VOC), o sea que es lo que espera nuestro cliente acerca del servicio o producto que le proporcionamos. Mediante la voz del cliente podemos saber cuál es el grado de satisfacción que este tiene.

Para determinar los CTQ'S se pueden tomar como base los siguientes puntos:

- Metas del negocio
- Entrevistas
- Encuestas
- Quejas
- Datos de Benchmarking
- Discusiones ejecutivas
- Discusiones de trabajo específico
- Matriz de Causa Efecto
- QFD
- Tendencias del mercado futuras

#### **Selección del problema:**

El problema se puede dar debido a: devoluciones, bajo nivel de servicio, entregas tardías, desperdicios, producto defectuoso, documentos inadecuados.

El problema se selecciona basándose en las políticas de la organización, al grupo de trabajo, jefe inmediato y a los resultados de sus actividades diarias.

#### **Criterios para seleccionar el problema**

- ❖ Seguridad
- ❖ Calidad
- ❖ Costo
- ❖ Entrega
- ❖ Nivel de servicio

Es muy recomendable expresar los antecedentes, la importancia y la prioridad de los problemas. Se debe de explicar por qué se seleccionó el problema ya sea por:

1. Efecto económico, reclamo de mercado, rechazos, % de ventas pérdidas, disponibilidad otros.
2. Impacto para los procesos posteriores, monto de pérdida, incremento de tiempo de operación, paro de línea, desperdicio, costo de falla, baja eficiencia etc.

Entre todos los integrantes del equipo pueden evaluar las razones arriba descritas y enfocarse en un solo tema.

**Impacto en el negocio:**

En este punto se enuncia como impacta la mejora del proceso al negocio. Se mencionan cuáles serían las consecuencias en caso de no realizar el proyecto. Se debe conocer cuál ha sido la situación en el negocio debido al proceso actual. Qué nos ha ocasionado: ¿Pérdida de clientes? ¿Incumplimiento en los niveles de servicio?, Así como cuantificar (en porcentajes y en pérdidas de utilidades).

Es importante describir como se alinea el proyecto con las iniciativas y metas del negocio. Estas últimas son definidas por la dirección.

**Descripción del problema:**

Se debe estratificar (se recomienda utilizar la herramienta estadística de 5 porque?) Para definir el problema que tiene el proceso, el producto o el servicio de forma específica, indicando cualitativamente de ser posible en cifras, o porcentajes que demuestren la necesidad de modificar su estado actual. Es necesario expresar concretamente el grado del problema. (Se recomienda no dejar el tema demasiado amplio). Es mejor no usar la solución para nombrar un problema, sin antes realizar la búsqueda de la causa verdadera (llamada también causa raíz), se creará duda de si esa solución es la definitiva.

**Definición y Alcance del proyecto:**

Para determinar los objetivos del proyecto nos cuestionamos ¿qué es lo que vamos a obtener con la realización del proyecto? Generalmente es mejorar e implementar el proceso para una fecha específica. El Alcance nos sirve para delimitar el proceso, es decir:

- ✓ Punto de inicio: Identificar la actividad en donde empieza el proceso.
- ✓ Punto final: Identificar la actividad donde termina el proceso.
- ✓ Dentro del alcance: Actividades que se encuentran dentro del proceso.
- ✓ Fuera del alcance: Actividades que no están dentro del proceso.

La realización de los proyectos normalmente son asignados a líderes de proyecto denominados “Green Belts” quienes aplican la metodología Seis Sigma en los proyectos de mejora del desempeño de los procesos.



Ahorros: Identificar de dónde se van a obtener los ahorros tanto financieros como no financieros para el proyecto tales como:

- ✓ Utilidades adicionales por mejoras en costo, calidad, disponibilidad
- ✓ Menores pérdidas por desperdicio, devoluciones, garantías, costo de falla, baja eficiencia, etc.
- ✓ Costos de: personal, materiales, equipos, rentas, subcontratación, consultoría, fondos de contingencia.

Cabe mencionar que no siempre hay ahorros financieros, si el CTQ se deriva de una mejora de la competencia, se hará una inversión.

#### **Selección del equipo de trabajo.**

- Seleccionar a las personas clave que intervienen o que están involucradas directamente y que reciben beneficios del proceso.
- Incluir nombre, posición roles y responsabilidades a desempeñar en el desarrollo del proyecto.

Es necesario incluir además de los miembros del equipo, al Champion<sup>1</sup> del proceso así como un BlackBelt<sup>2</sup> que apoye y asesore a los equipos de proyecto guiados por GreenBelts<sup>3</sup>.

#### **Recomendaciones:**

- Se debe definir claramente el problema (proyecto)
- Definir el cliente, sus CTQ y los procesos involucrados
- Medir el desempeño de los procesos involucrados
- Analizar los datos colectados y el mapa del proceso para determinar las causas raíz de defectos y oportunidades de mejora
- Mejorar el proceso seleccionado con soluciones creativas para corregir y prevenir la reincidencia de problemas
- Controlar las mejoras para mantener su curso

---

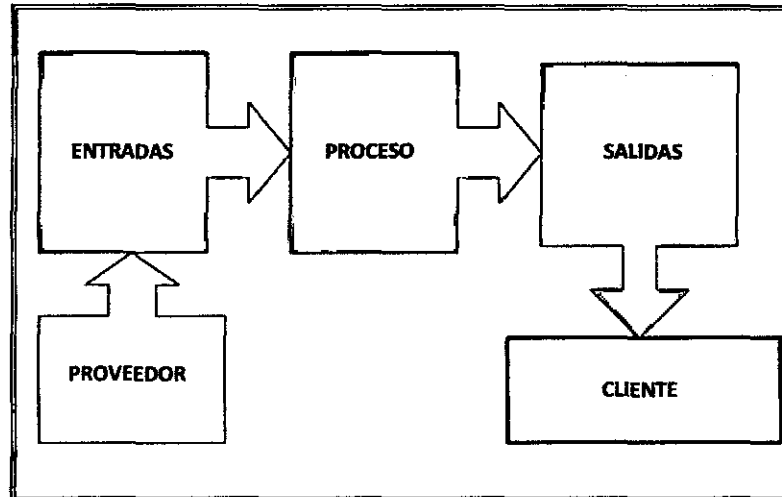
<sup>1</sup>Persona entrenada en la metodología de Seis Sigma que asume el papel de líder

<sup>2</sup>Persona entrenada en la metodología de Seis Sigma que asume el papel de asesor y facilitador de recursos

<sup>3</sup>Persona entrenada en la metodología de Seis Sigma que desarrollan el proyecto

#### 2.2.6.2. Mapa del proceso:

Realizar un mapeo del proceso de alto nivel, identificando cuales son los proveedores, entradas, proceso, salidas, clientes. Comúnmente llamado SIPOC.



**Figura 9: Factores involucrados en un Proceso**  
THOMAS PYZDEK, 2003 en *"Six Sigma Handbook"*

Construcción de un Diagrama SIPOC:

1. El equipo crea el mapa de proceso apoyado con Post Its pegados a la pared
2. El proceso puede tener 4 o 7 pasos claves ¿Cómo se transforma el producto?
3. Listar las salidas del proceso ¿Cuál es el resultado final, producto o servicio de este proceso?
4. Listar los clientes de la salida del proceso ¿quién es el usuario final del proceso?
5. Listar las entradas del proceso ¿De dónde vienen los materiales?
6. Listar los proveedores del proceso ¿quiénes son los proveedores clave?
7. Como paso opcional identificar algunos requerimientos preliminares de los clientes.
8. Involucrar al líder del equipo, champion, y otros grupos interesados en la verificación del proyecto.

### Ejemplo

Cliente <b>C</b>	Salida <b>O</b>	Proceso <b>P</b>	Entrada <b>I</b>	Proveedor <b>S</b>
Cliente, Ing. de Soporte	Confirmación y Número de Reporte Nombre del Ing. Asignado	1. Recibir la llamada y registrar problemas del Cliente	Llamada, Identificación Persona, Contrato Vigente, Descripción del Problema	Cliente
Ing. de sistemas del cliente	Posibles Soluciones Plan Implementación de la Solución	2. Analizar problema y proponer soluciones	Problemas Parecidos ya Resueltos o Registrados Info. Técnica detallada de la instalación del Cliente Recomendaciones de Expertos	Base de Problemas, Cliente, Expertos Técnicos
Ing. de sistemas del cliente	Posibles Soluciones Plan Implementación de la Solución	3. Corregir el Problema	Plan de Implementación, Pruebas y Contingencia para la Solución, Otras recomendaciones y Instrucciones	Ing. de Soporte
Cliente, Organización Interna	Reporte de Solución Documentación del Caso Registro BD de problemas	4. Cerrar el reporte del problema	Aprobación de la Solución, Resumen del Reporte de Fallas	Cliente Ing. de Soporte

**Figura 10: Ejemplo Diagrama SIPOC**  
Fuente: THOMAS PYZDEK, 2003 en "Six Sigma Handbook"

#### 2.2.6.3. Despliegue de la función de calidad QFD

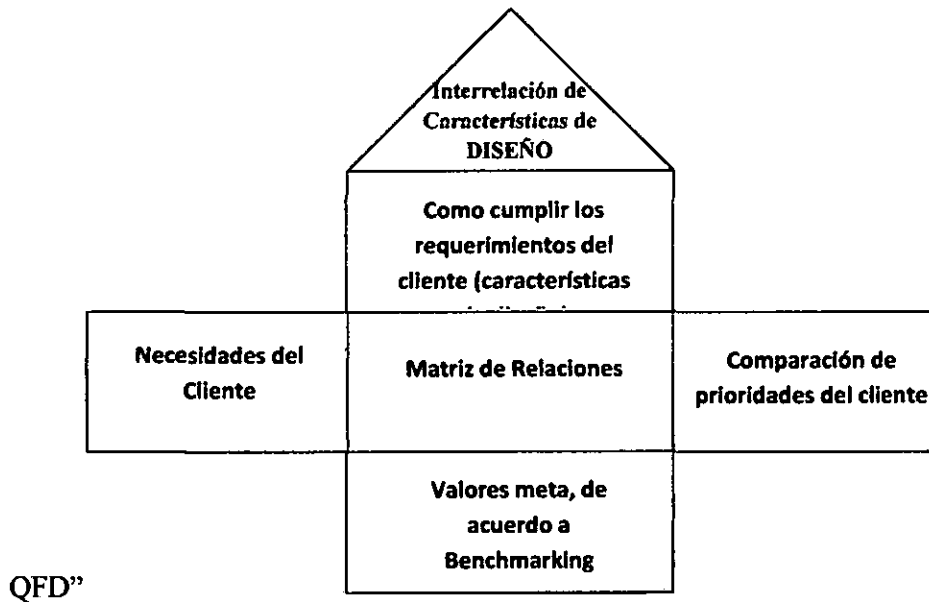
Por sus siglas en inglés (Quality Function Deployment) el QFD sirve para traducir la voz del cliente en especificaciones, participan varias áreas en el equipo, fue aplicado por primera vez en Kobe en 1972 por Yoji Akao con gran éxito. Se introdujo a EUA en los 1980's por Don Clausing y se ha aplicado en la industria automotriz.

El QFD proporciona un método gráfico para expresar las relaciones entre los requerimientos del cliente y las características de diseño, forma la matriz principal.

El QFD permite organizar los datos de requerimientos y expectativas del cliente en una forma matricial denominada la casa de la calidad. Proceso muy lento.

Entre los beneficios del QFD se encuentran: orientación al cliente, reducción de ciclo de desarrollo de nuevos productos, usa métodos de ingeniería concurrente, reduce los cambios en manufactura, incrementa la comunicación entre áreas y establece prioridades en los requerimientos.

A continuación se esquematiza una “Casa de calidad básica



**Figura 11: Quality Function Deployment (QFD)**  
 THOMAS PYZDEK, 2003 en “Six Sigma Handbook”

#### 2.2.6.4. Modelo Kano

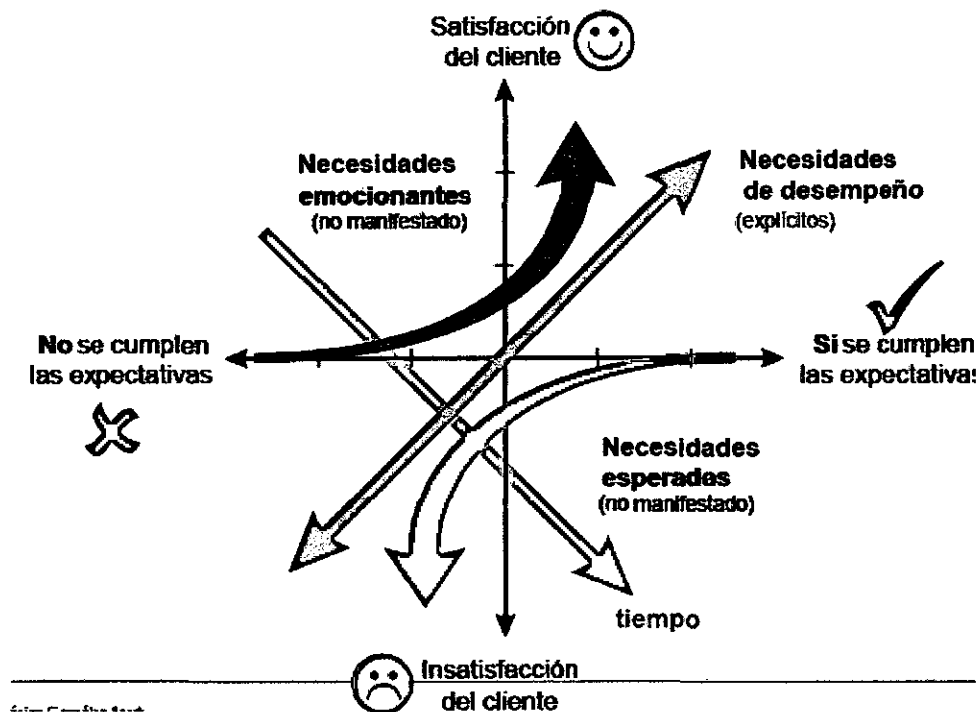
Noritaki Kano desarrollo un modelo explicativo que demuestra la relación entre la satisfacción del cliente y la organización proveedora según se muestra en la siguiente figura

El modelo de Kano muestra que existe un nivel básico de calidad que los clientes asumen que el producto traerá consigo. Sin embargo proveer dicha “calidad básica” no es suficiente para crear satisfacción al cliente.

La calidad esperada representa aquellas expectativas explícitamente consideradas por los clientes.

La calidad excitante (o exciting quality), muestra una curva que se encuentra en la zona de satisfacción. Este es el efecto de la innovación. Esto representa algún atributo

inesperado por el cliente. Es decir los clientes reciben más de lo que espera.



**Figura 12: Modelo KANO**  
**THOMAS PYZDEK, 2003 en "Six Sigma Handbook"**

Este modelo también se evalúa doblemente cada atributo: cuando se ofrece en el servicio (modo funcional) y cuando está ausente del mismo (modo disfuncional). La escala aquí utilizada no es ordinal, sino categórica, siendo el cruce de dichas categorías en cada uno de los modos evaluados (funcional y disfuncional) la que clasificaría cada atributo dentro de uno de los seis tipos contemplados en este modelo:

- **Atributos que satisfacen:** son aquellos en los que la satisfacción está relacionada de forma directamente proporcional con la funcionalidad del mismo.
- **Atributos requeridos:** los que aumentan la insatisfacción si no se ofrecen, pero no contribuyen a aumentar la satisfacción por encima de un límite.
- **Atributos que deleitan:** estos no disminuyen la satisfacción del cliente cuando no están funcionales, pero la aumentan mucho y rápidamente cuando sí se presentan.
- **Atributos neutros:** su presencia o ausencia no contribuye a aumentar o disminuir la satisfacción.

- Atributos cuestionables: los que producen valoraciones contradictorias.
- Atributos invertidos: producen valoraciones positivas cuando no están presentes y negativas cuando sí lo están.

#### **2.2.6.5. Benchmarking (BMK)**

Proceso sistemático y continuo para evaluar los productos, servicios y procesos de trabajo de las organizaciones que son reconocidas como representantes de las mejores prácticas, con el propósito de realizar mejoras organizacionales.

##### **Objetivo del benchmarking**

Obtener superioridad en todas las áreas - calidad, fiabilidad del producto y costos. Actuar como una herramienta por la cual se identifican, establecen y logran estándares de excelencia, basándose en la “realidad del mercado”.

¿Qué cosas se deben someter al proceso de benchmarking?

- Productos y servicios
- Procesos de trabajo
- Funciones de apoyo
- Desempeño organizacional
- Estrategias

¿Por qué utilizar el benchmarking?

- Ofrece un camino más rápido de desempeño notorio
- Muestra qué procesos son candidatos para mejora continua y cuáles requieren cambios mayores
- Tiene orientación al cliente y le da valor
- Hay falta de tiempo para la mejora gradual
- Ubica a la firma en donde está con respecto a práctica y procesos de su clase, y qué debe ser cambiado
- Aporta un modelo mejor en su clase para ser adoptado o, mejorado
- Es un compromiso hacia la calidad total, ya que la apoya a dar los mejores medios para la mejora y rápida, significativa de procesos o prácticas
- Sirve de apoyo al proceso de planificación estratégica
- Sirve como base para la fijación de objetivos, como base para las nuevas ideas

#### **2.2.6.6. Costos de Calidad**

Los costos de calidad son un vehículo para evaluar los esfuerzos de control de costos e identificar oportunidades de reducción de costos por medio de mejoras al sistema

Las categorías de los costos de calidad son:

- ❖ Costos de Prevención
- ❖ Costos de Evaluación
- ❖ Costos de Falla interna
- ❖ Costos de Falla externa

#### **Ventajas del sistema de costos de calidad**

- ✓ Es una herramienta para administrar con base a la calidad
- ✓ Alinea calidad y metas de la empresa
- ✓ Proporciona una forma de medir el cambio
- ✓ Mejora el uso efectivo de los recursos
- ✓ Enfatiza hacer las cosas bien a la primera
- ✓ Ayuda a establecer nuevos productos y proceso

#### **2.2.6.7. Entregables de la etapa DEFINICION**

En esta etapa los entregables serían:

- ❖ Identificar los requerimientos del cliente
  - Identificar al cliente
  - Recolectar los datos para identificar los requerimientos del cliente
  - Construir un mapa de proceso a detalle para identificar los requerimientos del cliente.
- ❖ Project Charter
  - Desarrollar el enunciado del problema y de la meta
  - Evaluar el alcance del proyecto
  - Seleccionar a los integrantes del equipo y sus roles
  - Desarrollar el contrato
  - Buscar la aprobación del contrato
- ❖ Plan de Trabajo
- ❖ Mapa del proceso

En la siguiente etapa Medición se verán las herramientas más utilizadas en la Fase de Medición; El medir persigue dos objetivos fundamentales:

1. Tomar datos para validar y cuantificar el problema o la oportunidad. Esta es una información crítica para refinar y completar el desarrollo del plan de mejora.
2. Nos permiten y facilitan identificar las causas reales del problema.

El conocimiento de estadística se hace fundamental. “La calidad no se mejora, a no ser que se la mida”.

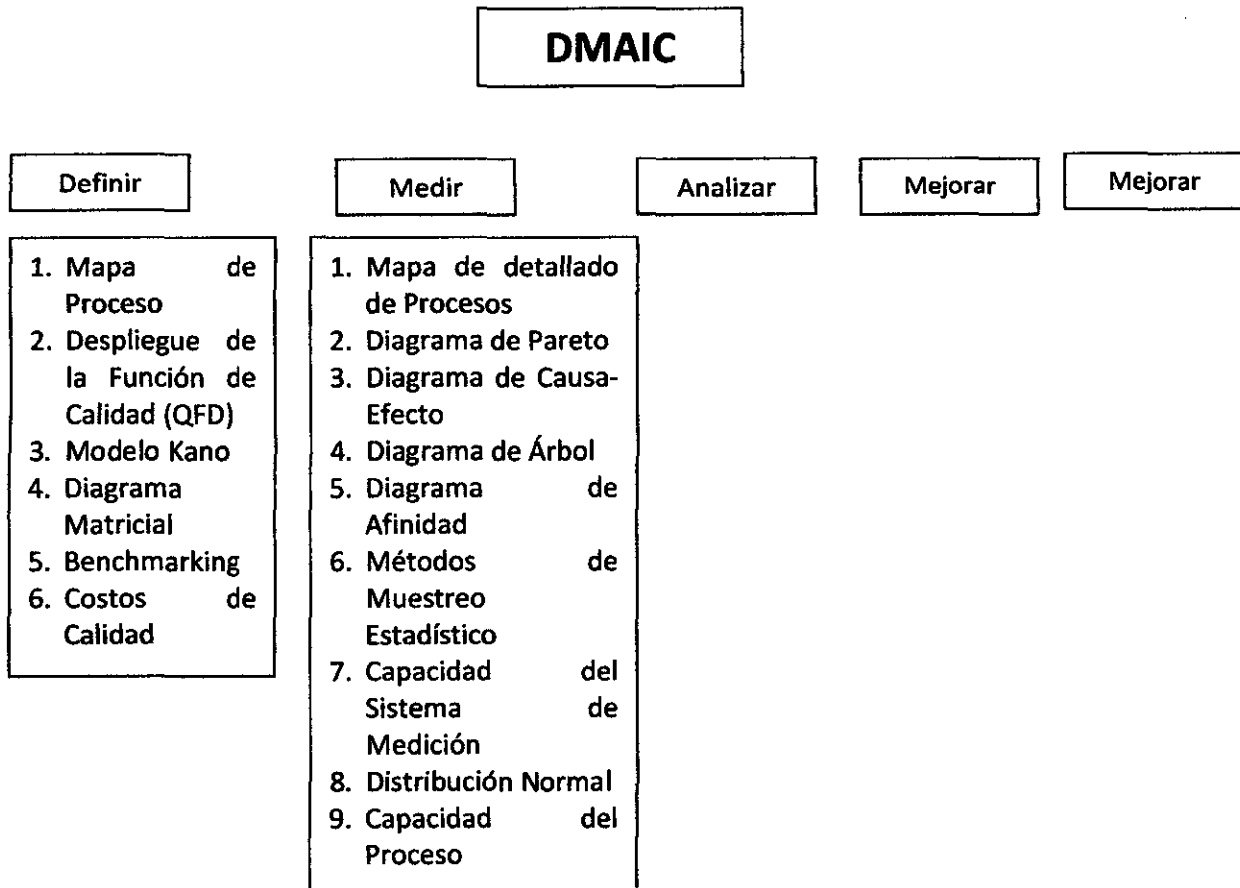
#### **2.2.7. Fase MEDICION**

Esta fase se enfoca a seleccionar una o más características para ser medidas, definiendo cómo serán medidas, estableciendo un plan de recolección de datos y la recolección de datos.

Esta fase es importante porque asegura que los datos que se relacionan con los requerimientos del cliente y el desempeño actual del proceso sean precisos, claros y confiables.



Las Herramientas a utilizar pueden ser:



**Figura 13: Herramientas en la Fase de Medición**

Los objetivos de esta fase son:

- Conocer el uso de las herramientas de la fase de medición
- Determinar que mediciones son importantes para el proyecto
- Identificar los tipos, fuentes y causas de la variación en el proceso
- Desarrollar un plan de recolección de datos relevantes
- Convertir los datos en números para conocer sus comportamientos
- Realizar un análisis del sistema de medición (MSA)

- Detectar cual es la frecuencia con la que ocurren los defectos

En todos los procesos existe variación, en esta fase el propósito es medir dicha variación, para saber si existen datos que se encuentren fuera de especificaciones, que estén causando problemas en nuestros procesos. Para realizar esta actividad es de suma importancia conocer: ¿qué es lo que necesitamos medir? y ¿cómo lo vamos a medir? A lo largo de este capítulo tenemos diferentes herramientas que nos ayudarán a responder estas preguntas.

Dependiendo de las condiciones y necesidades que tengamos seleccionaremos una o más herramientas, cabe mencionar que no necesariamente se utilizan todas las herramientas, lo importante es seleccionar cuidadosamente aquellas que nos proporcionen la información más objetiva y precisa.

#### 2.2.7.1. Etapas de la fase de medición

Esta fase consta de las siguientes etapas:

**Seleccionar los CTQ'S<sup>4</sup> del proceso (Crítico para la Calidad)**

Observemos la siguiente tabla:

$$Y = F(X)$$

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Y</li> <li>• Variable</li> <li>• Dependiente</li> <li>• Salida (respuesta)</li> <li>• Efecto</li> <li>• Síntoma</li> <li>• Monitoreable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• X1, X2,.....Xn</li> <li>• Variable independiente</li> <li>• Entrada-Proceso</li> <li>• Causa</li> <li>• Problema</li> <li>• Controlable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Z's</li> <li>• Variables de ruido</li> <li>• Incontrolables</li> </ul>
---	--	---

**Tabla 5: Variables dependiente, independiente y de ruido.**

<sup>4</sup>CTQ Critical to Quality según THOMAS PYZDEK, 2003 en "Six Sigma Handbook"

Para la selección de Y's podemos utilizar un diagrama de Pareto para priorizar y centrar nuestra atención en el(los) efecto(s) más importantes. La variable dependiente "Y" (o de respuesta) fue previamente determinada en la fase de definición, las X's son las variables de entrada, las Z's son las variables de ruido. En esta etapa se tratarán de determinar las X's, ya que son las variables que podemos medir y controlar.

En otras palabras:

- "Y" (=) Son los CTQ's del cliente (interno o externo)
- "X's" (=) Son CTQ's del proceso

Para determinar los CTQ's del proceso (X's) seleccionaremos alguna o algunas de las herramientas apropiadas a las necesidades del proyecto que se enuncian de manera general:

Herramienta	¿Para qué es utilizada?
5 Porqués?	Se utiliza después de haber determinado las causas más importantes de un problema, preguntando sistemáticamente 5 veces porqué, podremos llegar a la solución del problema
5W/1H	Técnica en la cual se responde a las siguientes preguntas: que, quién, porque, cuando, donde, como, para la solución de problemas.
Análisis de Campo de Fuerzas.	Analizar cuáles son las fuerzas dentro de una organización o proceso que están dando empuje a las soluciones y cuales están frenando el progreso.
Benchmarking	Estudio que ayuda a realizar un comparativo de productos, procesos o servicios contra el "mejor en la clase" puede ser dentro de la empresa o, para identificar oportunidades de mejora.
Capacidad de los sistemas de medición (MSA)	Sirve para determinar qué tan grandes son las variaciones sobre la base de ciertos parámetros de los sistemas de medición, incluyendo equipo y gente.
Carta de tendencias	Conocer el comportamiento de un proceso gráficamente para poder tomar las

	acciones correctivas a tiempo cuando es necesario.
<b>Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa o Fishbone)</b>	Representa de forma ordenada y completa todas las causas que pueden originar un problema (efecto) es una herramienta muy efectiva para encontrar las causas más importantes de un problema y sobre la base del análisis de las causas encontrar la mejor solución.
<b>Diagrama de Afinidad</b>	Agrupar en categorías afines las posibles causas que ocasionan un problema, permitiendo obtener fácilmente la causa que lo origina.
<b>Diagrama de Dispersión</b>	Es una técnica utilizada para estudiar la relación entre dos variables, facilitando la comprensión del problema planteado.
<b>Diagrama de Pareto</b>	Priorizar los problemas que tienen el potencial más grande de mejora. Muestra la frecuencia relativa en una gráfica de barras descendiente.
<b>Diagrama de Relaciones</b>	Permite al equipo identificar, analizar y clasificar sistemáticamente las relaciones causa y efecto que existen entre todos los elementos críticos, para lograr una solución efectiva.
<b>Diagramas Matriz</b>	Método utilizado para mostrar las relaciones que existen entre métodos, causas, actividades etc. determinando la fuerza que existe entre estas. Permite Identificar las medidas más convenientes para la solución.
<b>Hoja de Verificación</b>	Recolectar datos basados en la observación del comportamiento de un proceso con el fin de detectar tendencias, por medio de la captura, análisis y control de información relativa al proceso.
<b>Lluvia de ideas</b>	Cada miembro del equipo propone posibles soluciones a un problema, se determinan las mejores soluciones por consenso.
<b>Mapa de procesos</b>	Proveen una secuencia gráfica de cada uno de los pasos o actividades que componen una operación desde el inicio hasta el final. Permitiendo una mejor visualización y comprensión del proceso. Sirve para identificar pasos innecesarios, compara el proceso actual contra el ideal.

Matriz Causa y efecto	Relaciona las entradas claves a los CTQ's y el diagrama de flujo del proceso como su principal fuente. Sirve para priorizar las entradas clave a usar en AMEF'S, planes de control y estudios de capacidad.
QFD	Método gráfico (matriz de relaciones) en el que se identifican los deseos del cliente (CTQ'S) y las características de diseño del producto, procesos o servicios. Permite traducir de un lenguaje ambiguo a los requerimientos específicos del diseño del producto, proceso o servicio. En otras palabras relacionas los qué? del cliente con los cómo? Del proceso.
Técnica de grupos nominales.	Permite al equipo rápidamente realizar un consenso de la importancia relativa de asuntos, problemas o soluciones posibles. Las causas más importantes son atacadas y se priorizan para encontrar la mejor solución

**Tabla 6: Herramientas Estadísticas**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

#### **Establecer y validar el plan de recolección de datos**

Para realiza la recolección de datos podemos ayudarnos del diagrama 5W-1H el cual consiste en contestar las siguientes preguntas, cuyo objetivo es recolectar datos confiables, que reflejen la realidad de lo que está sucediendo 15:

- (What)¿Qué vamos a hacer?
- (Why)¿Por qué vamos a hacer eso?
- (Where) ¿En dónde lo vamos a hacer?
- (Who)¿Quién va a hacer qué?
- (When) ¿Para cuándo lo van a hace?
- (How)¿Cómo lo vamos a hacer?

Ventajas de ésta herramienta:

- Provee una estrategia clara y documentada al recolectar datos confiables.
- Da a los miembros del equipo una referencia común.
- Ayuda a asegurar que los recursos sean usados efectivamente para recolectar únicamente datos críticos.

#### 2.2.7.2. Estadística básica para la fase de Medición

La Estadística descriptiva es la rama de las matemáticas que comprende la recopilación, presentación, tabulación, análisis e interpretación de datos cuantitativos y cualitativos, para tomar decisiones que se requieran a fin de que el comportamiento de los datos se mantenga dentro de los parámetros de control establecidos, la estadística descriptiva Incluye las técnicas que se relacionan con el resumen y la descripción de datos numéricos, graficas, tablas y diagramas que muestran los datos y facilitan su interpretación.

La Estadística inferencial se refiere a la estimación de parámetros y pruebas de hipótesis acerca de las características de la población en base a los datos obtenidos con una muestra. A continuación se hace mención de algunas definiciones estadísticas:

- Población (N): Es el conjunto de todos los elementos de interés para determinado estudio
- Parámetro: Es una característica numérica de la población, se identifica con letras griegas (Media =  $\mu$ , Desviación estándar =  $\sigma$ , Proporción =  $\pi$ , Coeficiente de correlación =  $\rho$ )
- Muestra (n): Es una parte de la población, debe ser representativa de la misma.
- Estadístico: Es una característica numérica de una muestra, se identifica con letras latinas (Media =  $\bar{X}$ , Desviación estándar =  $s$ , Proporción =  $p$ , Coeficiente de correlación =  $r$ )

Para poder obtener consecuencias y deducciones válidas de los datos de una estadística, es muy útil contar con información sobre los valores que se agrupan hacia el centro y sobre qué tan distanciados o dispersos estén unos respecto a otros.

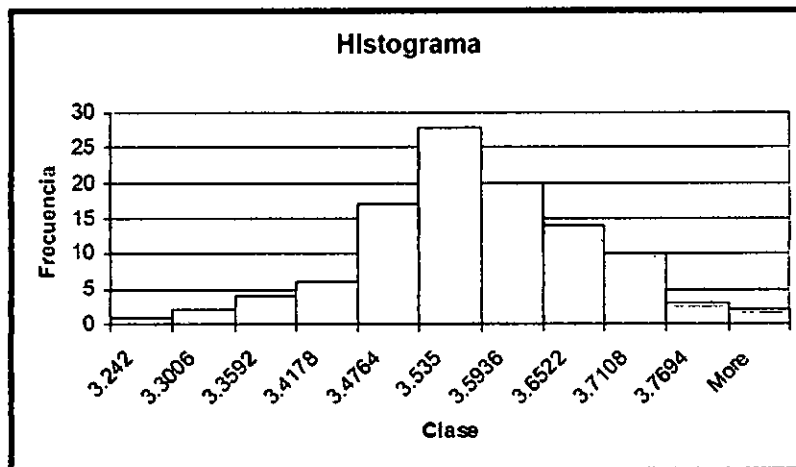
- Las medidas de tendencia central son: la media, mediana y moda.
- Las medidas de dispersión: son el rango, la desviación estándar y el coeficiente de variación.
- Otras medidas son: percentiles, deciles y cuartiles representados en el diagrama de caja.

### 2.2.7.3. Distribución de frecuencias e Histogramas

Cuando tenemos una cantidad grande de datos es difícil poder analizarlos, a menos que hagamos uso de herramientas que nos permitan hacerlo con mayor facilidad y claridad. El histograma es una de ellas, Se emplea para ilustrar muestras agrupadas en intervalos. Está formado por rectángulos unidos a otros, cuyos vértices de la base coinciden con los límites de los intervalos y el centro de cada intervalo es la marca de clase, que representamos en el eje de las abscisas. La altura de cada rectángulo es proporcional a la frecuencia del intervalo respectivo en un diagrama de barras donde las bases corresponden a los intervalos y las alturas a las frecuencias. Para construir un histograma se recomienda tener un mínimo de 50 a 100 datos.

Ejemplo:

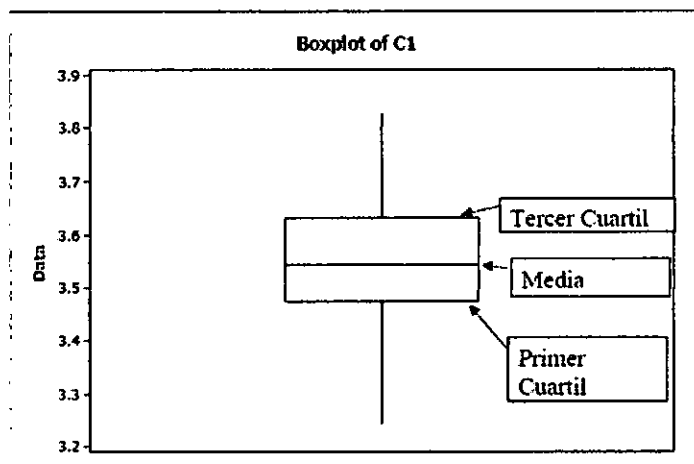
Columna	Intervalo	Registro de frecuencias
1	0.000 - 3.242 I	1
2	3.243 -3.300 II	2
3	3.007 - 3.359 IV	4
4	3.360 - 3.417 VI	6
5	3.418 - 3.476 XVII	17
6	3.477 - 3.535 XXVIII	28
7	3.536 - 3.593 XX	20
8	3.594 - 3.652 XIV	14
9	3.653 - 3.652 X	10
10	3.653 - 3.710 III	3
11	3.711 - 3.769 II	2



**Figura 14: Ejemplo Histograma**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

#### 2.2.7.4. Diagrama de Caja

Es un diagrama que proporciona información sobre el centro, la dispersión y la asimetría o sesgo; utiliza cuartiles, y así, es resistente a las observaciones aberrantes.



**Figura 15: Diagrama de Caja**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

#### 2.2.7.5. Mapa de procesos

Dentro de los sistemas de calidad resulta de gran utilidad representar la estructura y relaciones de los sistemas mediante diagramas de flujo.

Ventajas de los diagramas de flujo

- Proveen una secuencia gráfica de cada uno de los pasos que componen una

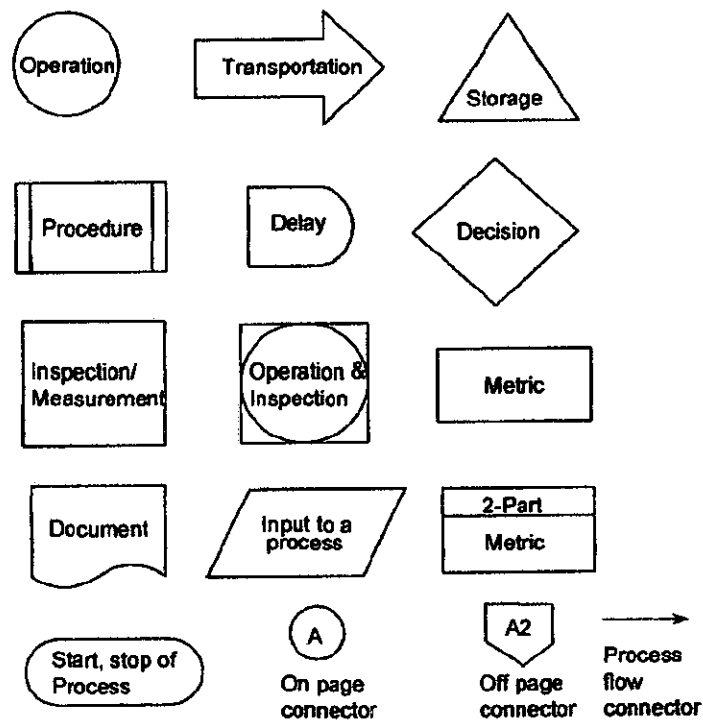


operación desde el inicio hasta el final. Permitiendo una mejor visualización y comprensión del proceso.

- Los diagramas de flujo pueden minimizar grandes volúmenes de documentación, incluyendo la documentación ISO 9000.
- Facilitan el desarrollo de Procedimientos Estándar de Operación.
- Al tener un procedimiento de operación estándar se reduce en gran medida la *variación* y el tiempo de ciclo.
- Los diagramas de flujo permiten detectar áreas de mejora en los procesos.

### Descripción de símbolos

En la construcción de diagramas de flujo de procesos se utilizan los símbolos descritos a continuación:



**Figura 16: Símbolos para la elaboración de Mapas de Procesos**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

#### 2.2.7.6. Lluvia de ideas

Es una técnica de grupo para crear ideas originales en un ambiente relajado. Esta

herramienta fue creada cuando se realizó una búsqueda de ideas creativas, el cual generaba más y mejores ideas que las que los individuos podían producir trabajando de forma independiente.

Para utilizar la técnica de lluvia de ideas se sugiere la siguiente técnica:

1. Escoger a alguien para que sea el facilitador y apunte las ideas.
2. Escribir en un rotafolio o pizarrón el problema a discutir.
3. Escribir cada idea en el menor número de palabras y si se llega a repetir una idea verificarla con su contribuidor. Nunca el facilitador puede interpretar o cambiar las ideas.
4. Establecer un tiempo límite. (Aprox. 25 minutos)
5. Fomentar la creatividad. Construir sobre las ideas de otros pero nunca criticar las ideas.
6. Revisar la lista para verificar su comprensión.
7. Converger las ideas (Eliminar las duplicaciones, problemas irrelevantes y aspectos no aplicables). El grupo llegará al consenso en las principales ideas y propondrá unas medidas a tomar en función del análisis.

La técnica Lluvia de ideas puede ser aplicada con gran frecuencia al llevar a cabo otras herramientas, como por ejemplo, diagramas causa-efecto, 5 ¿Porqués?, Diagrama de Afinidad, Diseño de experimentos, pruebas de confiabilidad, etc.

#### **Ventajas:**

La tormenta, o lluvia, de ideas posee una serie de características que la hacen muy útil cuando se pretende obtener un amplio número de ideas sobre las posibles causas de un problema, acciones a tomar, o cualquier otra cuestión.

Una observación añadida es que este método sirve de entrada, o de fase previa, para otras técnicas de análisis.

#### **2.2.7.7. Diagrama de Pareto**

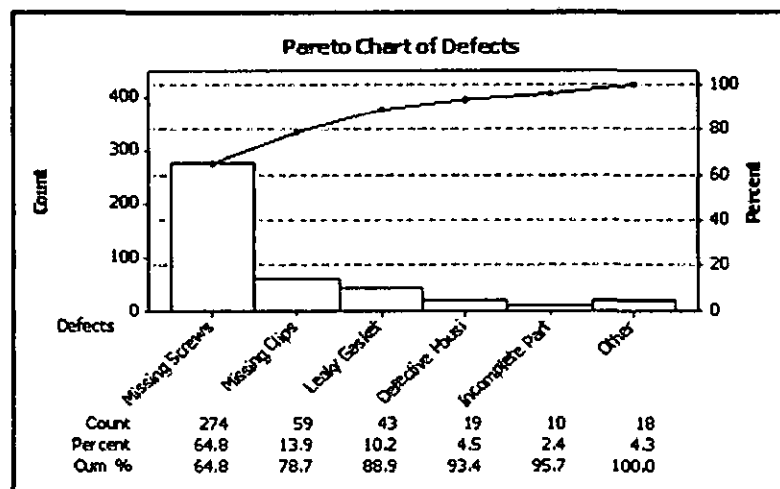
Herramienta utilizada para el mejoramiento de la calidad en la solución de problemas, para representar datos sobre un problema que permite identificar fácilmente los aspectos más significativos del mismo.

El principio enuncia que aproximadamente el 80% de los efectos de un problema se debe a solamente 20% de las causas involucradas.

El diagrama de Pareto es una gráfica de dos dimensiones que se construye listando las causas de un problema en el eje horizontal, empezando por la izquierda para colocar a aquellas que tienen un mayor efecto sobre el problema, de manera que vayan disminuyendo en orden de magnitud. El eje vertical se dibuja en ambos lados del diagrama: el lado izquierdo representa la magnitud del efecto provocado por las causas, mientras que el lado derecho refleja el porcentaje acumulado de efecto de las causas, empezando por la de mayor magnitud.

#### Ventajas:

- ❖ Ayuda a concentrarse en las causas que tendrán mayor impacto en caso de ser resueltas.
- ❖ Proporciona una visión simple y rápida de la importancia relativa de los problemas.
- ❖ Ayuda a evitar que se empeoren algunas causas al tratar de solucionar otras.
- ❖ Su formato altamente visible proporciona un incentivo para seguir luchando por más mejoras



**Figura 17: Diagrama Pareto**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

#### 2.2.7.8. Diagrama de Causa Efecto (Ishikawa)

Algunas veces es llamado diagrama de Ishikawa o espina de pescado, es la representación de varios elementos (causas) de un sistema que pueden contribuir a un problema (efecto). Es utilizado cuando se necesita identificar las posibles Causas de un problema específico, La naturaleza gráfica del diagrama permite que los grupos organicen grandes cantidades

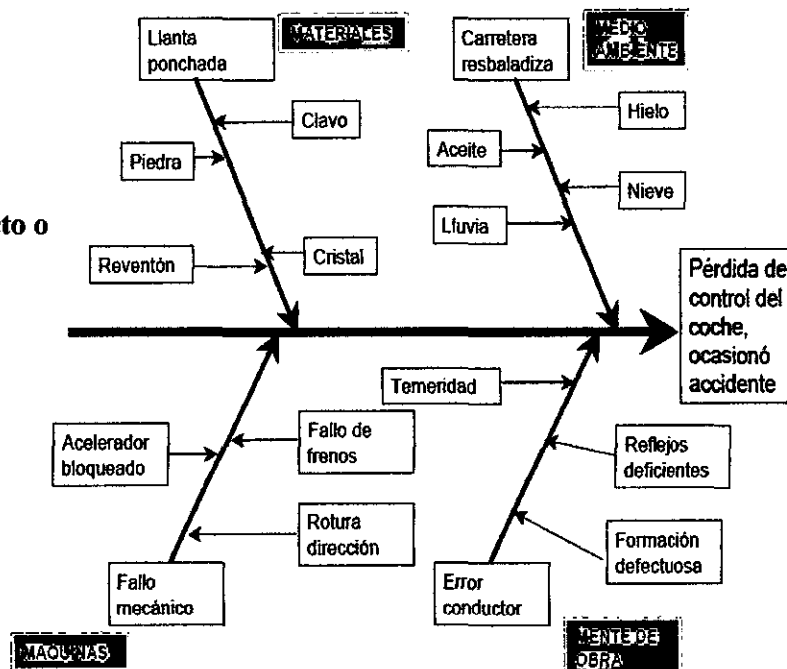
de información sobre el problema y determinar exactamente las posibles causas principales.

Una vez elaborado, el diagrama causa-efecto representa de forma clara, ordenada y completa todas las causas que pueden determinar cierto problema.

#### Ventajas:

- ❖ Permite que el grupo se concentre en el contenido del problema, no en la historia del problema ni en los distintos intereses personales de los integrantes del equipo.
- ❖ Ayuda a determinar las causas principales de un problema, o las causas de las características de calidad, utilizando para ello un enfoque estructurado.
- ❖ Estimula la participación de los miembros del grupo de trabajo, permitiendo así aprovechar mejor el conocimiento que cada uno de ellos tiene sobre el proceso.
- ❖ Incrementa el grado de conocimiento sobre un proceso.

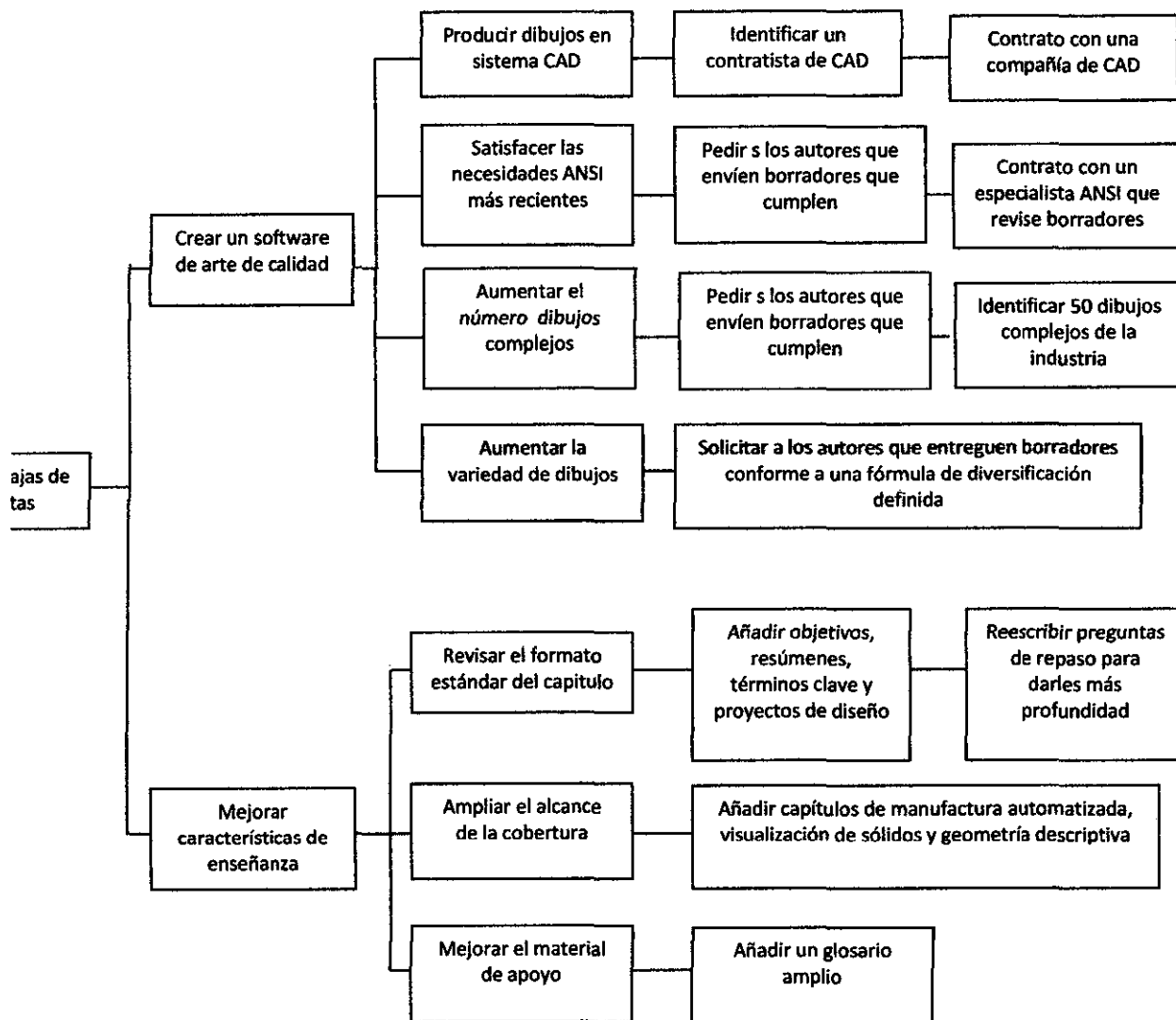
**Figura 18: Diagrama Causa Efecto o Ishikawa**



#### **2.2.7.9. Diagrama de Árbol**

El Diagrama de Árbol, o sistemático, es una técnica que permite obtener una visión de conjunto de los medios necesarios para alcanzar una meta o resolver un problema.

Partiendo de una información general, como la meta a alcanzar, se incrementa gradualmente el grado de detalle sobre los medios necesarios para su consecución. Este mayor detalle se representa mediante una estructura en la que se comienza con una meta general (el "tronco") y se continúa con la identificación de niveles de acción más precisos (las sucesivas "ramas"). Las ramas del primer nivel constituyen medios para alcanzar la meta pero, a su vez, estos medios también son metas, objetivos intermedios, que se alcanzarán gracias a los medios de las ramas del nivel siguiente. Así repetidamente hasta llegar a un grado de concreción suficiente sobre los medios a emplear.



**Figura 19: Ejemplo de Diagrama de Árbol**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

#### **Ventajas:**

- ❖ Exhorta a los integrantes del equipo a ampliar su modo de pensar al crear soluciones.
- ❖ Mantiene a todo el equipo vinculado a las metas y submetas generales de una tarea.
- ❖ Mueve al equipo de planificación de la teoría al mundo real.

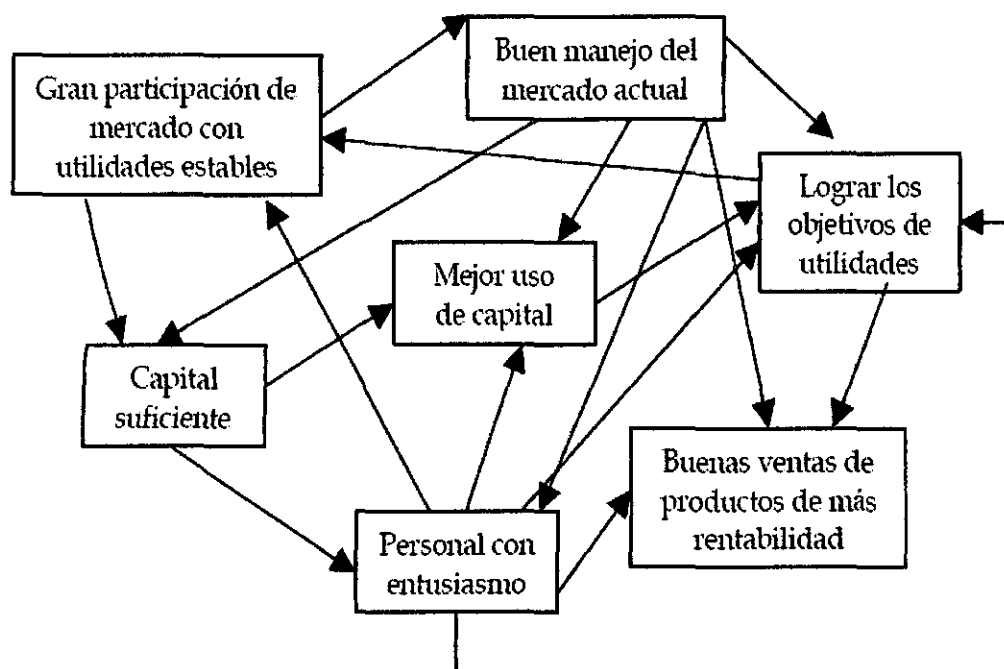
#### **2.2.7.10. Diagrama de Relaciones**

Es una herramienta que determina que idea tiene influencia sobre otra, representando

ésta relación mediante una flecha en la dirección de influencia.

En particular el Diagrama de Relaciones se utiliza cuando:

1. Un tema es lo suficientemente complejo como para que la Inter.-relación entre ideas (causas y efectos) sea difícil de determinar, clasificar y priorizar
  2. Es crítico en la resolución del problema la secuenciación correcta de las actividades *por parte de la dirección*
  3. Existe un sentimiento de que el problema en cuestión en realidad es un solo síntoma.
  4. El número de causa y las relaciones entre estas es significativo y difícil de analizar por separado
- ❖ Desarrollar aprox. 50 conceptos del problema (post its)
  - ❖ Colocar en forma aleatoria los conceptos
  - ❖ Relacionar los conceptos con flechas causa-efecto
  - ❖ Se requieren varias revisiones al diagrama por los miembros del equipo
  - ❖ El equipo llega a un consenso sobre los conceptos sobre los que necesita trabajar
  - ❖ Causa raíz = más flechas de salida; Resultado = más flechas de llegada



**Figura 20: Diagrama de Relaciones**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

#### 2.2.7.11. Métodos de Muestreo Estadístico

El muestreo es una herramienta de la investigación científica. Su función básica es determinar que parte de una realidad en estudio (población o universo) debe examinarse con la finalidad de hacer inferencias sobre dicha población. El error que se comete debido al hecho de que se obtienen conclusiones sobre cierta realidad a partir de la observación de sólo una parte de ella, se denomina error de muestreo. Obtener una muestra adecuada significa lograr una versión simplificada de la población, que reproduzca de algún modo sus rasgos básicos.

- **Muestreo probabilístico**

El método otorga una probabilidad conocida de integrar la muestra a cada elemento de la población, y dicha probabilidad no es nula para ningún elemento.

Los métodos de muestreo no probabilísticos no garantizan la representatividad de la muestra y por lo tanto no permiten realizar estimaciones inferenciales sobre la población.

Entre los métodos de muestreo probabilísticos más utilizados en investigación encontramos:



	Características	Ventajas	Desventajas
Aleatorio simple	Se selecciona una muestra de tamaño $n$ de una población de $N$ unidades, cada elemento tiene una probabilidad de inclusión igual y conocida de $n/N$ .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sencillo y de fácil comprensión.</li> <li>• Cálculo rápido de medias y varianzas.</li> <li>• Se basa en la teoría estadística, y por tanto existen paquetes informáticos para analizar los datos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere que se posea de antemano un listado completo de toda la población.</li> <li>• Cuando se trabaja con muestras pequeñas es posible que no represente a la población adecuadamente</li> </ul>
Sistemático	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conseguir un listado de los <math>N</math> elementos de la población</li> <li>• Determinar tamaño muestral <math>n</math>.</li> <li>• Definir un intervalo <math>k = N/n</math>.</li> <li>• Elegir un número aleatorio, <math>r</math>, entre 1 y <math>k</math> (<math>r</math> = arranque aleatorio).</li> <li>• Seleccionar los elementos de la lista.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de aplicar.</li> <li>• No siempre es necesario tener un listado de toda la población.</li> <li>• Cuando la población está ordenada siguiendo una tendencia conocida, asegura una cobertura de unidades de todos los tipos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si la constante de muestreo está asociada con el fenómeno de interés, las estimaciones obtenidas a partir de la muestra pueden contener sesgo de selección</li> </ul>

Estratificado	<p>En ciertas ocasiones resultará conveniente estratificar la muestra según ciertas variables de interés. Para ello debemos conocer la composición estratificada de la población objetivo a muestrear. Una vez calculado el tamaño muestral apropiado, este se reparte de manera proporcional entre los distintos estratos definidos en la población usando una simple regla de tres.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiende a asegurar que la muestra represente adecuadamente a la población en función de unas variables seleccionadas.</li> <li>• Se obtienen estimaciones más precisas</li> <li>• Su objetivo es conseguir una muestra lo más semejante posible a la población en lo que a variables estratificadoras se refiere.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se ha de conocer la distribución en la población de las variables utilizadas para la estratificación.</li> </ul>
Conglomerados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realizan varias fases de muestreo sucesivas (polietápico)</li> <li>• La necesidad de listados de las unidades de una etapa se limita a aquellas unidades de muestreo seleccionadas en la etapa anterior.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es muy eficiente cuando la población es muy grande y dispersa.</li> <li>• No es preciso tener un listado de toda la población, sólo de las unidades primarias de muestreo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El error estándar es mayor que en el muestreo aleatorio simple o estratificado.</li> <li>• El cálculo del error estándar es complejo</li> </ul>

**Tabla 7: Tipos de muestreos**  
 THOMAS PYZDEK, 2003 *"Six Sigma Handbook"*

#### 2.2.7.12. Estudios de Capacidad de sistemas de medición MSA (R&R)

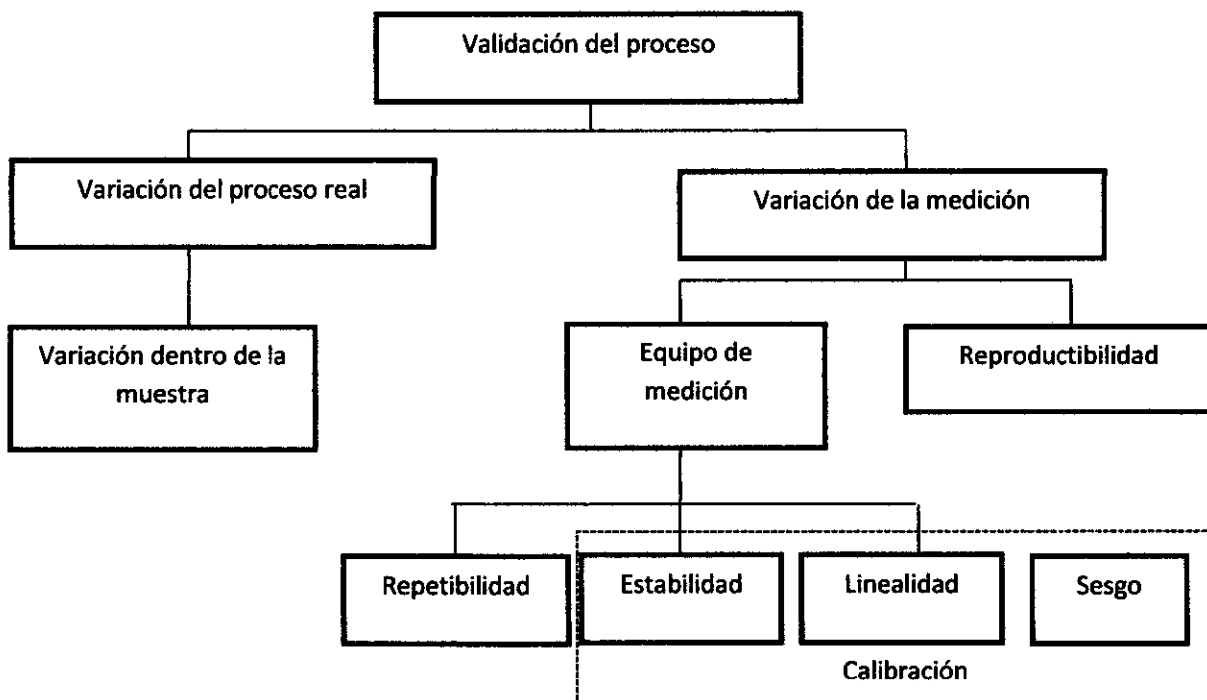
En muchas ocasiones las organizaciones no consideran el impacto de no tener sistemas de medición de calidad, el hecho de que las mediciones no sean exactas puede llevar a cometer errores en el cálculo, y en los análisis y conclusiones de los estudios de capacidad de los procesos.

Cuando los operadores no miden una pieza de manera consistente, se puede caer en el riesgo de rechazar artículos que están en buen estado o aceptar artículos que están en mal estado.

Por otro lado si los instrumentos de medición no están calibrados correctamente también se pueden cometer errores. Cuando sucede lo mencionado anteriormente tenemos un sistema de medición deficiente que puede hacer que un estudio de capacidad parezca insatisfactorio cuando en realidad es satisfactorio.

Lo anterior puede tener como consecuencia gastos innecesarios de reproceso al reparar un proceso de manufactura o de servicios, cuando la principal fuente de variación se deriva del sistema de medición.

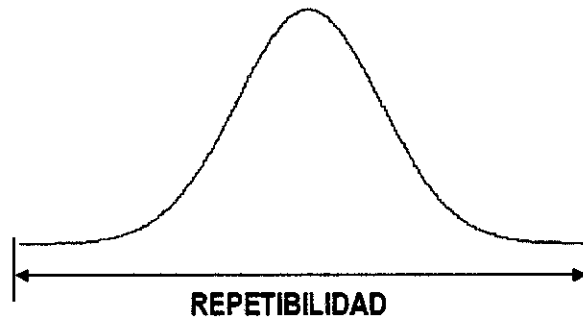
##### Posibles Fuentes de la Variación del Proceso



**Figura 21: Fuentes de Variación**  
THOMAS PYZDEK, 2003 *"Six Sigma Handbook"*

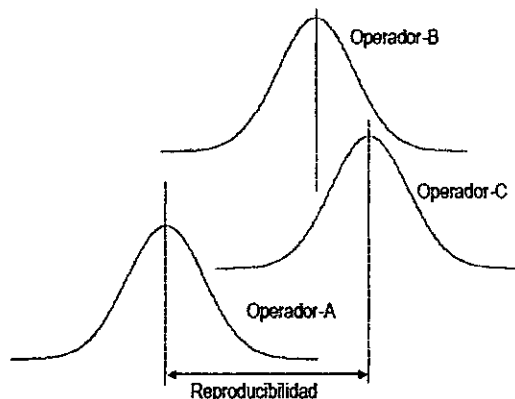
### Definiciones

- **Repetibilidad:** es la variación de las mediciones obtenidas con un instrumento de medición, cuando es utilizado varias veces por un operador, al mismo tiempo que mide las mismas características en una misma parte.(BAHENA QUINTANILLA, 2006).



**Figura 22: Repetibilidad**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

- **Reproducibilidad:** Es la variación, entre promedios de las mediciones hechas por diferentes operadores que utilizan un mismo instrumento de medición cuando miden las mismas características en una misma parte (BAHENA QUINTANILLA, 2006).



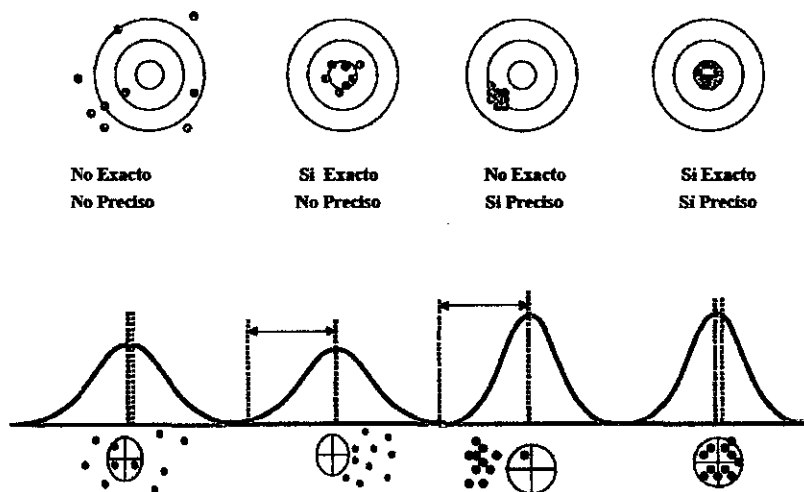
**Figura 23: Reproducibilidad**

- **Valor verdadero:** Valor correcto teórico / estándares NIST22
- **Precisión:** Es la habilidad de repetir la misma medida cerca o dentro de una

misma zona

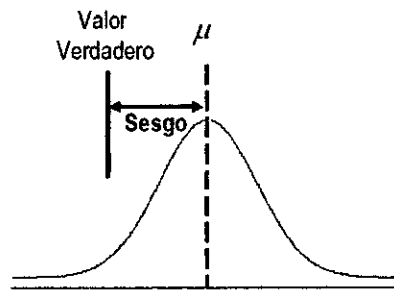
- **Exactitud:** Es la diferencia entre el promedio del número de medidas y el valor verdadero.
- **Resolución:** La medición que tiene exactitud y precisión.

### Errores del Sistema de Medición



**Figura 24: Presentación de errores de medición.**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

- **Estabilidad:** es la variación total de las mediciones obtenidas con un sistema de medición, hechas sobre el mismo patrón o sobre las mismas partes, cuando se mide una sola de sus características, durante un período de tiempo prolongado. (BAHENA QUINTANILLA, 2006).
- **Linealidad:** diferencia en los valores de la escala, a través del rango de operación esperado del instrumento de medición.
- **Sesgo:** distancia entre el valor promedio de todas las mediciones y el valor verdadero. Error sistemático o desviación.



**Figura 25: Sesgo**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

- **Calibración:** Es la comparación de un estándar de medición con exactitud conocida con otro instrumento para detectar, reportar o eliminar por medio del ajuste, cualquier variación en la exactitud del instrumento.

**Nota: Importante:** para que el equipo de medición tenga una discriminación adecuada en la evaluación de las partes, su Resolución debe ser al menos 1/10 de la variabilidad del proceso.

Criterios según el MSA:

- ✓ <10% Aceptable
- ✓ 10-30%. Puede ser aceptable, dependiendo si la característica a medir no es crítica.
- ✓ >30%. ¡Inaceptable!

En cualquier problema que involucre mediciones, algunas de las variaciones observadas son debidas al proceso y otras son debidas al error o variación en los sistemas de medición. La variación total es expresada de la siguiente manera:

$$\sigma^2_{total} = \sigma^2_{proceso} + \sigma^2_{error\ medición}$$

Existen 2 métodos para realizar los estudios de R&R, conocidos como Método corto y Método largo, a continuación se explica éste último:

#### **Estudio de R&R Método largo**

- Generalmente intervienen de dos a tres operadores
- Se sugiere se tomen 10 unidades
- Cada unidad es medida por cada operador, 2 ó 3 veces.
- La resolución del equipo de medición debe ser de al menos el 10% del rango de

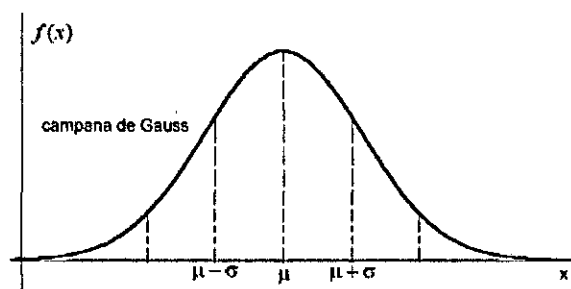
tolerancia o del rango de variación del proceso.

- Las partes deben seleccionarse al azar, cubriendo el rango total del proceso. Es importante que dichas partes sean representativas del proceso total (80% de la variación)
- 10 partes NO son un tamaño de muestra significativo para una opinión sólida sobre el equipo de medición a menos que se cumpla el punto anterior.

#### 2.2.7.13. La Distribución Normal

La distribución normal es una de las distribuciones más usadas e importantes. Su propio nombre indica su extendida utilización, justificada por la frecuencia o normalidad con la que ciertos fenómenos tienden a parecerse en su comportamiento a esta distribución. Muchos eventos reales y naturales tienen una distribución de frecuencias cuya forma es muy parecida a la distribución normal.

La distribución normal es llamada también campana de Gauss por su forma acampanada.

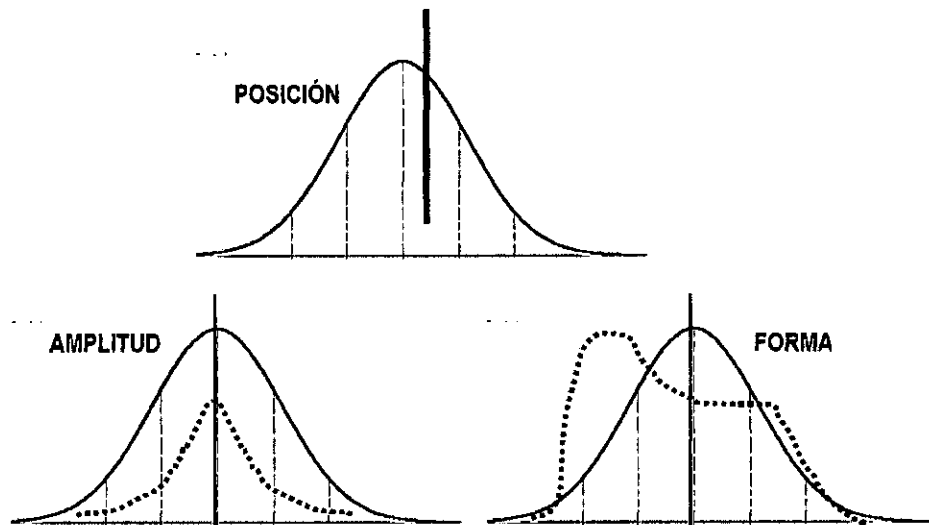


**Figura 26: Distribución Normal**  
THOMAS PYZDEK, 2003 "Six Sigma Handbook"

#### Propiedades de la distribución normal

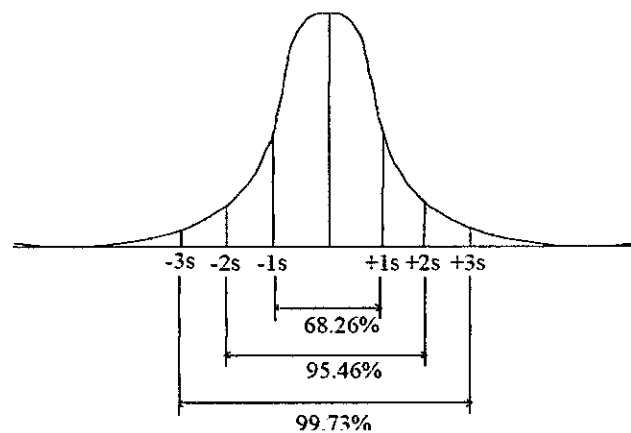
- La distribución normal tiene forma de campana.
- La distribución normal es una distribución de probabilidad que tiene media  $\mu = 0$  y desviación estándar  $\sigma = 1$ .
- El área bajo la curva o la probabilidad desde menos infinito a más infinito vale 1.
- La distribución normal es simétrica, es decir cada mitad de curva tiene un área de 0.5. U La escala horizontal de la curva se mide en desviaciones estándar.
- La forma y la posición de una distribución normal dependen de los parámetros  $\mu$  y  $\sigma$ , en consecuencia hay un número infinito de distribuciones normales.

Las distribuciones pueden variar en:



**Figura 27: Tipos de Variación de la Distribución Normal.**  
THOMAS PYZDEK, 2003 "Six Sigma Handbook"

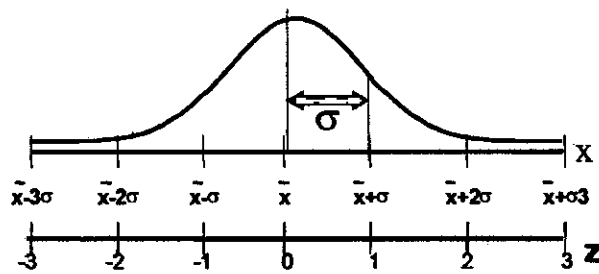
Existe una relación del porcentaje de población a la desviación estándar. En la figura observamos por ejemplo que el área bajo la curva para  $\pm 1\sigma$  tiene un porcentaje de 68.26%,  $\pm 2\sigma = 95.46\%$  y  $\pm 3\sigma = 99.73\%$ .



**Figura 28: Distribución Normal en niveles de sigma y %**  
THOMAS PYZDEK, 2003 "Six Sigma Handbook"

La desviación estándar ( $\sigma$ ) representa la distancia de la media al punto de inflexión de la curva normal.





**Figura 29: Distribución Normal en niveles de Z**  
THOMAS PYZDEK, 2003 "Six Sigma Handbook"

#### 2.2.7.14. Capacidad de procesos normales

Al planear los aspectos de calidad de la manufactura, es sumamente importante asegurarse de antemano de que el proceso será capaz de mantener las tolerancias. En las décadas recientes ha surgido el concepto de capacidad del proceso o habilidad del proceso, que proporciona una predicción cuantitativa de qué tan adecuado es un proceso. La habilidad del proceso es la variación medida, inherente del producto que se obtiene en ese proceso.

##### Definiciones básicas.

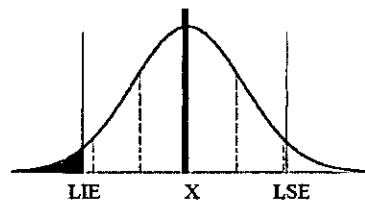
- **Proceso:** Éste se refiere a alguna combinación única de máquinas, herramientas, métodos, materiales y personas involucradas en la producción.
- **Capacidad o habilidad:** Esta palabra se usa en el sentido de aptitud, basada en el desempeño probado, para lograr resultados que se puedan medir.
- **Capacidad del proceso:** Es la aptitud del proceso para producir productos dentro de los límites de especificaciones de calidad.
- **Capacidad medida:** Esto se refiere al hecho de que la capacidad del proceso se cuantifica a partir de datos que, a su vez, son el resultado de la medición del trabajo realizado por el proceso.
- **Capacidad inherente:** Se refiere a la uniformidad del producto que resulta de un proceso que se encuentra en estado de control estadístico, es decir, en ausencia de causas especiales o atribuibles de variación.
- **Variabilidad natural:** Los productos fabricados nunca son idénticos sino que

presentan cierta variabilidad, cuando el proceso está bajo control, solo actúan las causas comunes de variación en las características de calidad.

- **Valor Nominal:** Las características de calidad tienen un valor ideal óptimo que es el que desearíamos que tuvieran todas las unidades fabricadas pero que no se obtiene, aunque todo funcione correctamente, debido a la existencia de la variabilidad natural.

#### **Objetivos de determinar la capacidad del proceso**

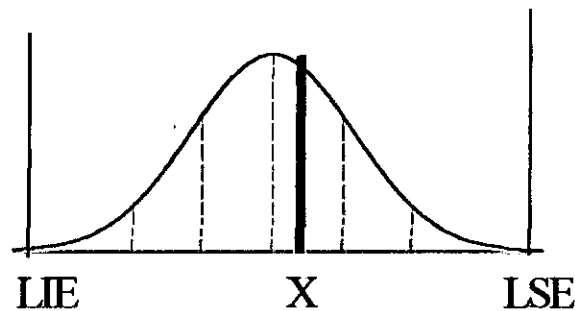
1. Predecir en qué grado el proceso cumple especificaciones.
2. Apoyar a diseñadores de producto o proceso en sus modificaciones.
3. Especificar requerimientos de desempeño para el equipo nuevo.
4. Seleccionar proveedores.
5. Reducir la variabilidad en el proceso de manufactura.
6. Planear la secuencia de producción cuando hay un efecto interactivo de los procesos en las tolerancias.



**Figura 30:  $p$  = porcentaje de medidas bajo la curva de probabilidad fuera de especificaciones.**  
THOMAS PYZDEK, 2003 *"Six Sigma Handbook"*

#### **Partes fuera de especificaciones, como vamos a mejorar esto?**

- Para solucionar este problema, podemos reducir la desviación estándar.
- También podríamos cambiar la media.
- Lo ideal sería, por supuesto cambiar ambas.



**Figura 31: Distribución Normal con promedio centrado y desviación reducida**  
 THOMAS PYZDEK, 2003 *"Six Sigma Handbook"*

### **Condiciones para realizar un estudio de capacidad del proceso**

Para realizar un estudio de capacidad es necesario que se cumplan los siguientes supuestos:

- El proceso se encuentre bajo control estadístico, es decir sin la influencia de fuerzas externas o cambios repentinos. Si el proceso está fuera de control la media y/o la desviación estándar del proceso no son estables y, en consecuencia, su variabilidad será mayor que la natural y la capacidad potencial estará infravalorada, en este caso no es conveniente hacer un estudio de capacidad.
- Se recolectan suficientes datos durante el estudio de habilidad para minimizar el error de muestreo para los índices de habilidad. Si los datos se componen de menos de 100 valores, entonces deben calcularse los límites de confianza inferiores.
- Los datos se recolectan durante un periodo suficientemente largo para asegurar que las condiciones del proceso presentes durante el estudio sean representativos de las condiciones actuales y futuras.
- El parámetro analizado en el estudio sigue una distribución de probabilidad normal, de otra manera, los porcentajes de los productos asociados con los índices de capacidad son incorrectos.

También es importante al realizar un estudio de capacidad, asegurarnos que la variación en el sistema de medición no sea mayor al 10%.

## Variación a corto plazo y a largo plazo

Existen dos maneras de expresar la variabilidad:

- **Variación a corto plazo (Zst):** Los datos son recogidos durante un periodo de tiempo suficientemente corto para que sea improbable que haya cambios y otras causas especiales.

Las familias de variación han sido restringidas de tal manera que los datos considerados, sólo son los que se obtuvieron del subgrupo racional. Ayuda a determinar subgrupos racionales importantes.

- **Variación a Largo Plazo (Zlt):** Los datos son recogidos durante un periodo de tiempo suficientemente largo y en condiciones suficientemente diversas para que sea probable que contenga algunos cambios de proceso y otras causas especiales. Aquí todas las familias de variación exhiben su contribución en la variación del proceso general.

Para el cálculo de Z utilizamos las siguientes formulas:

$$Z_{st} = \frac{(\text{limite especific.} - \text{nom.})}{\text{dev. std}_{st}}$$

$$Z_{lt} = \frac{\text{limite especific.} - \text{media}}{\text{dev. std}_{lt}}$$

**Dónde:**

Zst = variación a corto plazo.

Nom = Valor nominal u objetivo

Zlt = variación a largo plazo.

**Z shift:** A largo plazo los procesos tienen un desplazamiento natural de 1.5 desviaciones estándar.

$$Zlt = Zst - 1.5\text{shift}$$

## Cálculo de la capacidad del proceso:

Para calcular la capacidad del proceso utilizamos la siguiente fórmula:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Dónde:

C<sub>p</sub> = capacidad potencial

LSE = límite superior de especificaciones

LIE = límite inferior de especificaciones

σ = desviación estándar

El índice C<sub>p</sub> debe ser >\_ 1 para tener el potencial de cumplir con especificaciones

(LIE, LSE) Para calcular la capacidad real utilizamos la siguiente fórmula:

$$C_{pk} = \frac{[Z_l, Z_s]}{3}$$

El menor valor absoluto de Z<sub>l</sub> o Z<sub>s</sub>

Nota: Para que el proceso cumpla con las especificaciones el C<sub>pk</sub> = debe de ser ≥ 1.

#### 2.2.7.15. Entregables Fase MEDICION

En esta etapa los entregables serían:

- Seleccionar Requerimientos del Cliente
  - Identificar características medibles del requerimiento del cliente (CTQ's) para el proyecto.
- Definir estándares de desempeño
  - Desarrollar definiciones operacionales para el proceso a ser medido
  - Identificar el objetivo de mejora del proceso
  - Establecer márgenes de tolerancia (límites de especificación)
  - Definir los conceptos de unidad, defecto y oportunidad de defecto
- Plan colección datos
  - Validar Sistema de Medición
  - Desarrollar el Plan de recolección de datos
- Validar el Sistema de Medición (Y)

La siguiente fase es la de análisis, la cual nos permite descubrir la causa raíz. Para ello se hará uso de las distintas herramientas de gestión de la calidad. Ellas son las siete

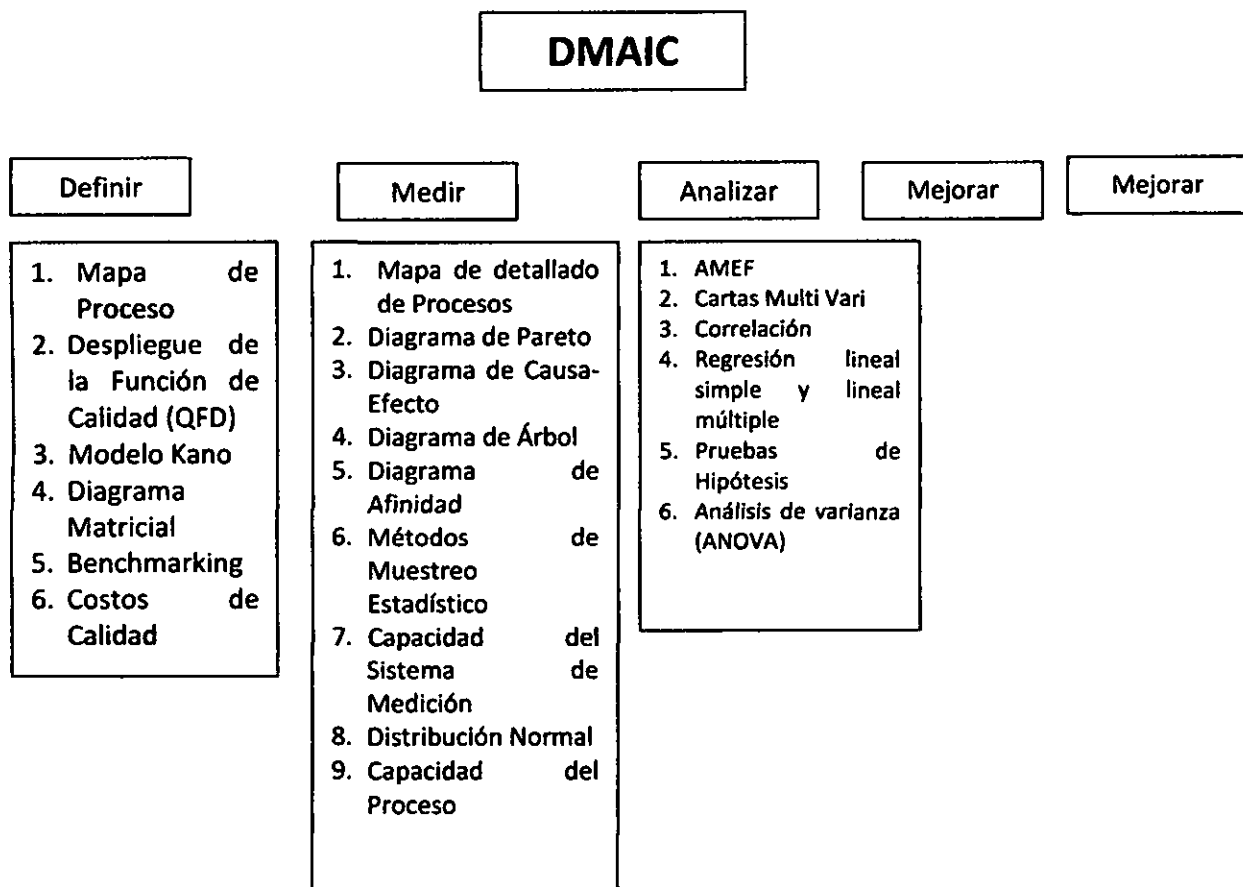
herramientas estadísticas clásicas y las nuevas siete herramientas. Las herramientas de análisis deben emplearse para determinar dónde estamos, no para justificar los errores.

### 2.2.8. Fase ANALISIS

En esta fase se efectúa el análisis de los datos obtenidos en la etapa de Medición, con el propósito de conocer las relaciones causales o causas raíz del problema.

La información de este análisis nos proporcionará evidencias de las fuentes de variación y desempeño insatisfactorio, el cual es de gran utilidad para la mejora del proceso.

Las Herramientas a utilizar pueden ser:



**Figura 32: Herramientas en la Fase ANALISIS**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

Los objetivos de esta fase son:

- Determinar el nivel de desempeño del proceso actual.
- Identificar cuáles son las fuentes de variación.
- Una vez identificadas las causas potenciales por medio de una lluvia de ideas y un diagrama de causa efecto, se realiza un proceso de validación estadística de las mismas apoyándose en Análisis de regresión, Pruebas de Hipótesis y Análisis de varianza.

#### **2.2.8.1. Etapas de la fase de Análisis**

La fase de análisis consta de las siguientes etapas:

##### **Definir el objetivo de desempeño**

En esta etapa se define la meta hacia la cual nos dirigimos, o sea cuales son los niveles sigma esperados en nuestro proceso en el tiempo.

Una opción es realizar un Benchmarking, el cual es el mecanismo para identificar y comparar quien tiene el mejor desempeño del proceso, ya sea dentro de la organización u otra organización, y comparamos nuestros valores contra ese parámetro de referencia para determinar el GAP existente e identificar acciones para reducirlo.

##### **Identificar las fuentes de variación**

Cuando un proceso se encuentra fuera de las especificaciones permitidas, se tiene evidencia de que existe variación. Para comprobarlo utilizamos alguna de las herramientas de análisis, según sea el caso por ejemplo, el análisis Multi-Vari es una herramienta estadística que nos permite determinar las fuentes que presentan mayor variación, a través de la descomposición de los componentes de variabilidad del proceso. Una vez determinadas las causas de variación, nos enfocaremos en los i “pocos vitales X” que están afectando la variable de respuesta “y”. Una opción para priorizar estas causas es el uso del “diagrama de Pareto”.

## **Herramientas básicas para la fase de Análisis**

### **2.2.8.2. FMEA o AMEF (Proceso actual)**

El AMEF o FMEA ( Failure Mode and Effect Analisis) es una técnica de prevención, utilizada para detectar por anticipado los posibles modos de falla, con el fin de establecer los controles adecuados que eviten la ocurrencia de defectos.

#### **Objetivos**

- Identificar los modos de falla potenciales, y calificar la severidad de su efecto.
- Evaluar objetivamente la ocurrencia de causas y la habilidad de los controles para detectar la causa cuando ocurre.
- Clasifica el orden potencial de deficiencias de producto y proceso.
- Se enfoca hacia la prevención y eliminación de problemas del producto y proceso

#### **Cuándo iniciar un AMEF**

- Al diseñar los sistemas, productos y procesos nuevos.
- Al cambiar los diseños o procesos existentes o que serán usados en aplicaciones o ambientes nuevos.
- Después de completar la Solución de Problemas (con el fin de evitar la incidencia de los mismos).
- El AMEF de sistema, después de que las funciones del sistema se definen, aunque sea antes de seleccionar el hardware específico.
- El AMEF de diseño, después de que las funciones del producto son definidas, aunque sea antes de que el diseño sea aprobado y entregado para su manufactura.
- El AMEF de proceso, cuando los dibujos preliminares del producto y sus especificaciones están disponibles.

#### **Tipos de AMEF'S**

- AMEF ¾ de Diseño: Se usa para analizar componentes de diseños. Se enfoca hacia los Modos de Falla asociados con la funcionalidad de un componente, causados por el diseño.
- AMEF de Proceso: Se usa para analizar los procesos de manufactura y ensamble. Se enfoca a la incapacidad para producir el requerimiento que se pretende, un



defecto. Los Modos de Falla pueden derivar de causas identificadas en el AMEF de Diseño.

#### **Procedimiento para la elaboración del A.M.E.F (Diseño o Proceso)**

1. Determinar el proceso o producto a analizar.
2. Establecer los modos potenciales de falla.
3. *Determinar el efecto de la falla*
4. Determinar la causa de la falla
5. Describir las condiciones actuales: Anotar los controles actuales que estén dirigidos a prevenir o detectar la causa de la falla.
6. Determinar el grado de ocurrencia: Es necesario estimar el grado de ocurrencia de la causa de la falla potencial. Se utiliza una escala de evaluación del 1 al 10. El “1” indica remota probabilidad de ocurrencia, el “10” indica muy alta probabilidad de ocurrencia. (Tabla 4-3.1)
1. Determinar el grado de severidad: Para estimar el grado de severidad, se debe de tomar en cuenta el efecto de la falla en el cliente. Se utiliza una escala del 1 al 10: el ‘1’ indica una consecuencia sin efecto. El 10 indica una consecuencia grave. (Tabla 4-3.2)
2. Determinar el grado de detección: Se estimará la probabilidad de que el modo de falla potencial sea detectado antes de que llegue al cliente. El ‘1’ indicará alta probabilidad de que la falla se pueda detectar. El ‘10’ indica que es improbable ser detectada. (Tabla 4-3.3)
3. Calcular el número de prioridad de riesgo (NPR): Es un valor que establece una jerarquización de los problemas a través de la multiplicación del grado de ocurrencia, severidad y detección, éste provee la prioridad con la que debe de atacarse cada modo de falla, identificando ítems críticos.

$$\text{NPR} = \text{Grado de Ocurrencia} * \text{Severidad} * \text{Detección}.$$

- Acciones  $\frac{3}{4}$  recomendadas: Anotar la descripción de las acciones preventivas o correctivas recomendadas, incluyendo responsables de las mismas. Anotando la fecha compromiso de implantación.
4. Una vez realizadas las acciones correctivas o preventivas, se recalcula el grado de ocurrencia, severidad, detección y el NPR.

Cada vez que haya alguna modificación en el proceso o en el producto se debe de actualizar el A.M.E.F.

#### **2.2.8.3. Cartas Multi-Vari**

El análisis Multi-Vari permite determinar las fuentes que presentan mayor variación, a través de la descomposición de los componentes de variabilidad del proceso.

El objetivo general de las cartas Multi-Vari es, descubrir los componentes de variación en el proceso y cuantificar las diferentes fuentes de variabilidad, las cuáles pueden ser, por ejemplo: de lote a lote, dentro del lote, de turno a turno, entre turnos, dentro del turno, de máquina a máquina, dentro de la máquina, de operador a operador, dentro del operador, entre operadores, etc.

Su propósito fundamental es reducir el gran número de causas posibles de variación, a un conjunto pequeño de causas que realmente influyen en la variabilidad.

Sirven para identificar el patrón principal de variación de entre tres patrones principales:

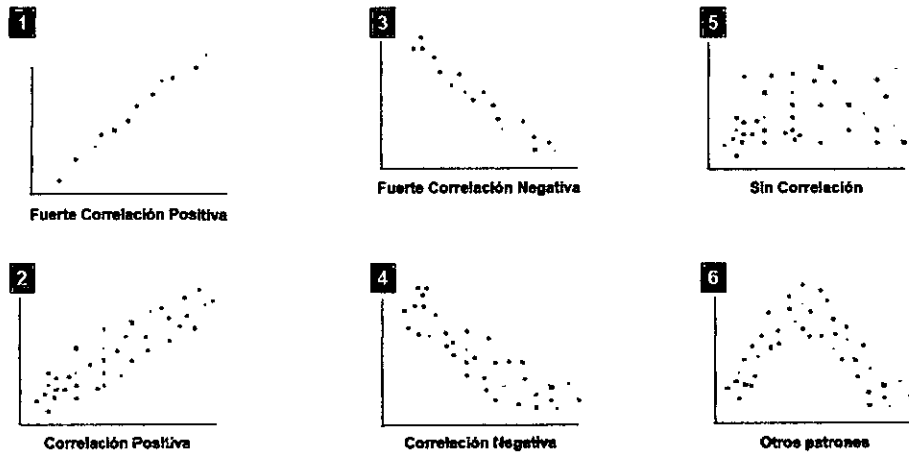
1. Temporal: Variación de hora a hora; turno a turno; día a día; semana a semana; etc.
2. Cíclico: Variación entre unidades de un mismo proceso; variación entre grupos de unidades; variación de lote a lote.
3. Posicional:
  - Variaciones dentro de una misma unidad (ejemplo: porosidad en un molde de metal) o a través de una sola unidad con múltiples partes (circuito impreso).
  - Variaciones por la localización dentro de un proceso que produce múltiples unidades al mismo tiempo. Por ejemplo las diferentes cavidades de un molde
  - Variaciones de máquina a máquina; operador a operador; o planta a planta

Una vez identificados las fuentes de variación, el análisis Multi-Vari está diseñado y enfocado a identificar la variable independiente de mayor influencia dentro de las familias de variación descritas anteriormente.

#### 2.2.8.4. Correlación

Establece si existe una relación entre las variables y responde a la pregunta, “¿Qué tan evidente es esta relación?”

Los Diagramas de Correlación se utilizan para estudiar las relaciones y “posibles dependencias” entre dos variables.



**Figura 33: Tipos de Correlación**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

#### La Correlación:

- Mide la fuerza de la asociación lineal entre dos variables
- No mide las relaciones fuertes no lineales
- No mide causa y efecto
- Puede ser utilizada como un primer paso para la regresión
- Debe ser utilizada en conjunto con técnicas gráficas

La medición de la fuerza de la asociación lineal en un análisis de correlación es “R” (el coeficiente de correlación.) que dependiendo del valor “nos dice” que tan bien se ajustan los datos a la ecuación.

#### Propiedades de R

- $-1 < R < 1$
- $R > 0$  indica una relación positiva lineal
- $R < 0$  indica una relación negativa lineal

R<sup>2</sup> la proporción de la variabilidad total de los valores de “y” que pueden ser explicados

por la variable independiente x.

Si el valor de R esta entre:

- $0.9 \leq R \leq 1$  Muy buen ajuste
- $0.8 \leq R < 0.9$  Buen ajuste, requiere de más pruebas
- $0.6 \leq R < 0.8$  Regular, requiere revisión

#### 2.2.8.5. Análisis de Regresión

El análisis de regresión es un método estandarizado para localizar la correlación entre dos grupos de datos, y, quizá más importante, crear un modelo de predicción.

Puede ser usado para analizar las relaciones entre:

- Una sola "X" predictora y una sola "Y"
- Múltiples predictores "X" y una sola "Y"
- Varios predictores "X" entre sí

#### Regresión lineal simple

La Regresión lineal se refiere a la predicción del valor de una variable a partir de una o más variables. En ocasiones se denomina a la variable dependiente (y) variable de respuesta y a la variable independiente (x) variable de predicción.

Usamos un modelo probabilístico para explicar el comportamiento de la variable independiente vs. La variable dependiente, llamado modelo de regresión lineal, y se expresa de acuerdo a la siguiente ecuación:

#### Modelo de regresión lineal

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

Dónde:

y = variable dependiente  $\beta_0$  = ordenada al origen  $\beta_1$  = pendiente

x = variable independiente  $\varepsilon$  = Error aleatorio

La expresión  $\beta_0 + \beta_1 X$  se denomina componente determinístico del modelo de regresión lineal. La muestra de pares de datos se usará para estimar los parámetros  $\beta_0$  y  $\beta_1$

#### Supuestos para el modelo de regresión lineal

1. Para cada valor de x, la variable aleatoria  $\varepsilon$  se distribuye normalmente.
2. Para cada valor de x, la media o valor esperado de  $\varepsilon$  es 0; esto es,  $E(\varepsilon) = \mu_{\varepsilon} = 0$ .

3. Para cada valor de  $x$ , la varianza de  $\varepsilon$  es la constante  $\sigma^2$  (llamada varianza del error).
4. Los valores del término de error  $\varepsilon$  son independientes.
5. Para un valor fijo de  $x$ , la distribución muestral de  $y$  es normal, porque sus valores dependen de los de  $\varepsilon$ .
6. Para un valor fijo  $x$ , es posible predecir el valor de  $y$ .
7. Para un valor fijo  $x$ , es posible estimar el valor promedio de  $y$

### **Regresión lineal múltiple**

En ocasiones la información de una variable independiente no es suficiente, Cuando se usa más de una variable independiente para predecir los valores de una variable dependiente, el proceso se llama análisis de regresión múltiple; y se expresa de acuerdo a la siguiente ecuación:

### **Modelo de regresión múltiple**

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \varepsilon$$

Dónde:

- $y$  = variable dependiente
- $\beta_0$  = ordenada al origen
- $\beta_1, \beta_2$  = coeficiente de cada variable.
- $x_1, x_2$  = variables independientes
- $\varepsilon$  = Error aleatorio

La estimación de los coeficientes de una regresión múltiple es un cálculo bastante complicado y laborioso, por lo que se requiere del empleo de programas de computación especializados. Sin embargo, la interpretación de los coeficientes es similar al caso de la regresión simple: el coeficiente de cada variable independiente mide el efecto separado que esta variable tiene sobre la variable dependiente. El coeficiente de determinación, por otro lado, mide el porcentaje de la variación total en  $Y$  que es explicado por la variación conjunta de las variables independientes.

#### **2.2.8.6. Pruebas de Hipótesis**

Al realizar pruebas de hipótesis, se parte de un valor supuesto (hipotético) en parámetro poblacional. Después de recolectar una muestra aleatoria, se compara la estadística muestral, así como la media ( $\bar{x}$ ), con el parámetro hipotético, se compara con una supuesta media poblacional ( $\mu$ ). Después se acepta o se rechaza el valor hipotético, según proceda. Se rechaza el valor hipotético sólo si el resultado muestral resulta muy poco probable cuando la hipótesis es cierta.

**Etapa 1.-** Planear la hipótesis nula y la hipótesis alternativa. La hipótesis nula ( $H_0$ ) es el valor hipotético del parámetro que se compra con el resultado muestral resulta muy poco probable cuando la hipótesis es cierta.

**Etapa 2.-** Especificar el nivel de significancia que se va a utilizar. El nivel de significancia del 5%, entonces se rechaza la hipótesis nula solamente si el resultado muestral es tan diferente del valor hipotético que una diferencia de esa magnitud o mayor, pudiera ocurrir aleatoria mente con una probabilidad de 1.05 o menos.

**Etapa 3. -** Elegir la estadística de prueba. La estadística de prueba puede ser la estadística muestral (el estimador no sesgado del parámetro que se prueba) o una versión transformada de esa estadística muestral. Por ejemplo, para probar el valor hipotético de una media poblacional, se toma la media de una muestra aleatoria de esa distribución normal, entonces es común que se transforme la media en un valor  $z$  el cual, a su vez, sirve como estadística de prueba.

**Etapa 4.-** Establecer el valor o valores críticos de la estadística de prueba. Habiendo especificado la hipótesis nula, el nivel de significancia y la estadística de prueba que se van a utilizar, se produce a establecer el o los valores críticos de estadística de prueba. Puede haber uno o más de esos valores, dependiendo de si se va a realizar una prueba de uno o dos extremos.

**Etapa 5.-** Determinar el valor real de la estadística de prueba. Por ejemplo, al probar un valor hipotético de la media poblacional, se toma una muestra aleatoria y se determina el valor de la media muestral. Si el valor crítico que se establece es un valor de  $z$ , entonces se transforma la media muestral en un valor de  $z$ .

**Etapas 6.- Tomar la decisión.** Se compara el valor observado de la estadística muestral con el valor (o valores) críticos de la estadística de prueba. Después se acepta o se rechaza la hipótesis nula. Si se rechaza ésta, se acepta la alternativa; a su vez, esta decisión tendrá efecto sobre otras decisiones de los administradores operativos, como por ejemplo, mantener o no un estándar de desempeño o cuál de dos estrategias de mercadotecnia utilizar.

La distribución apropiada de la prueba estadística se divide en dos regiones: una región de rechazo y una de no rechazo. Si la prueba estadística cae en esta última región no se puede rechazar la hipótesis nula y se llega a la conclusión de que el proceso funciona correctamente.

Al tomar la decisión con respecto a la hipótesis nula, se debe determinar el valor crítico en la distribución estadística que divide la región del rechazo (en la cual la hipótesis nula no se puede rechazar) de la región de rechazo. A hora bien el valor crítico depende del tamaño de la región de rechazo.

**Pasos de la prueba de hipótesis:**

1. Definir el Problema (Problema Práctico).
2. Señalar los Objetivos (Problema Estadístico).
3. Determinar tipo de datos: Atributo o Variable.
4. Si son datos Variables: Prueba de Normalidad.
5. Establecer las Hipótesis: Hipótesis Nula ( $H_0$ ), Hipótesis Alterna ( $H_a$ ).
6. Seleccionar el nivel de Alfa (normalmente 0.05 o 5%).
7. Establecer el tamaño de la muestra,  $\geq 10$ .
8. Desarrollar el Plan de Muestreo.
9. Seleccionar Muestras y Obtener Datos.
10. Decidir la prueba estadística apropiada y calcular el estadístico de prueba ( $Z$ ,  $t$ ,  $X^2$  o  $F$ ) a partir de los datos.
11. Obtener el estadístico correspondiente de tablas o Excel.
12. Determinar la probabilidad de que el estadístico de prueba calculado ocurra al azar.
13. Comparar el estadístico calculado con el de tablas y ver si cae en la región de rechazo

o ver si la probabilidad es menor a alfa, rechace  $H_0$  y acepte  $H_a$ . En caso contrario no rechace  $H_0$ .

14. Con los resultados interprete una conclusión estadística para la solución práctica.

#### **Pruebas de hipótesis para una población**

Se trata de probar una afirmación sobre parámetros de la población (media  $\mu$ ; varianza  $\sigma^2$  o proporción  $\pi$ ) sobre la base de datos de estadísticos de una muestra ( $\bar{X}$  media,  $s^2$  o  $p$  respectivamente):

#### **ELEMENTOS DE UNA PRUEBA:**

- Prueba Estadística: Procedimiento para decidir aceptar o rechazar hipótesis.
- Hipótesis: Es una afirmación acerca de una o más poblaciones.
- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): Usualmente es una afirmación representando una situación “status quo”. Generalmente deseamos rechazar la hipótesis nula.
  - Es la hipótesis o afirmación a ser probada
  - Puede ser por ejemplo  $\mu =, \leq, o \geq a$
  - Sólo puede ser rechazada o no rechazada
- Hipótesis Alterna ( $H_a$ ): Es lo que aceptamos si podemos rechazar la hipótesis nula.  $H_a$  es lo que queremos probar.
  - Es la hipótesis que se acepta como verdadera cuando se rechaza  $H_0$ , es su complemento
  - Puede ser por ejemplo  $\mu \neq 7$  para prueba de dos colas
    - $< 7$  para prueba de cola izquierda
    - $> 7$  para prueba de cola derecha
- Estadístico de prueba: Calculado con datos de la muestra.
- Región de Rechazo: Indica los valores de la prueba estadística para que podamos rechazar la
- Hipótesis nula ( $H_0$ ). Esta región está basada en un riesgo a deseado, normalmente 0.05 o 5%.
- Estadístico de prueba ( $Z, t, X^2$  o  $F$ ): Para probar la hipótesis nula se calcula un estadístico de prueba con la información de la muestra el cual se compara a un valor crítico apropiado. De esta forma se toma una decisión sobre rechazar o no rechazar la  $H_0$ .



- Error tipo I (alfa = nivel de significancia, normal=0.05): Se comete al rechazar la  $H_0$  cuando en realidad es verdadera. También se denomina riesgo del productor
- Error tipo II (beta): Se comete cuando no se rechaza la hipótesis nula siendo en realidad falsa. Es el riesgo del consumidor

Las pruebas de hipótesis pueden ser de dos colas, de cola derecha o de cola izquierda, a continuación se esquematizan cada una de ellas.

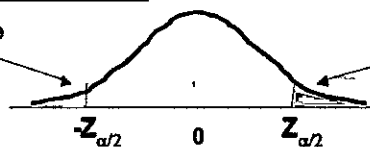
Pruebas de Hipótesis de dos colas:

Pruebas de Hipótesis de dos colas:

$H_0: a = b$

$H_a: a \neq b$

Región de  
Rechazo

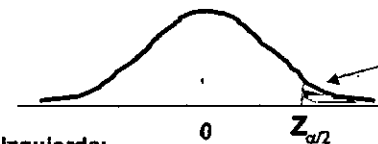


Región de  
Rechazo

Pruebas de Hipótesis de cola derecha:

$H_0: a \leq b$

$H_a: a > b$



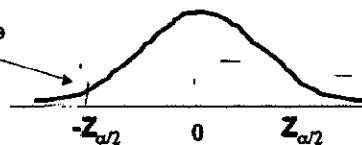
Región de  
Rechazo

Pruebas de Hipótesis cola izquierda:

$H_0: a \geq b$

$H_a: a < b$

Región de  
Rechazo



**Figura 34: Tipos de Hipótesis**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

#### 2.2.8.7. Análisis de varianza de una vía (ANOVA)

El análisis de la varianza de un criterio (ANOVA) es una metodología para analizar la variación entre muestras y la variación al interior de las mismas mediante la determinación de varianzas. Es llamado de un criterio porque analiza un variable independiente o Factor. Como tal, es un método estadístico útil para comparar dos o más medias poblacionales.

Tipos de ANOVAS:

- ANOVA de un factor o dirección
- ANOVA de un factor y una variable de bloqueo
- ANOVA de un factor y dos variables de bloqueo — CUADRADO LATINO
- ANOVA de un factor y tres variables de bloqueo – CUADRADO GRECOLATINO

- Conducir el diseño de experimentos para la optimización de procesos.
- Obtener las mejoras del proceso en el proyecto.

Las principales herramientas utilizadas en esta fase son las siguientes:

#### **2.2.9.1. Etapas de la fase de Mejora**

Las etapas de la fase mejora son las siguientes:

##### **Mostrar las causas potenciales y caracterización de X's:**

En la fase de análisis encontramos los pocos vitales X's, en esta fase vamos a determinar aquellos que específicamente afectan nuestro proceso. Esto se lleva a cabo a través de datos históricos, conocimiento y discusiones. Con base a lo anterior también deseamos las variables que no son utilizadas. Una opción para realizar esta actividad es mediante el uso del diagrama de Ishikawa.

Los cambios en los parámetros de operación referentes a las X's pueden ser puestos en niveles múltiples, para estudiar cómo afectan la respuesta en el proceso "Y"

El Diseño de Experimentos es un método para probar la significancia, o sea que tanto afectan cada uno de los factores a la variable de respuesta. Y para determinar la interacción entre dichos factores.

##### **Consideraciones:**

- ❖ El Diseño de Experimentos sirve para identificar los pocos vitales de los CTQ's
- ❖ En la optimización es utilizada para determinar los niveles más apropiados de los pocos vitales.
- ❖ Sirve para comparar el resultado experimental contra el proceso actual

#### **2.2.9.2. Diseño de Experimentos (DOE)**

Un experimento es una prueba o serie de pruebas en las cuales se hacen modificaciones a las variables de entrada de un proceso o sistema para que puedan ser observadas y definidas las respuestas de salida

**El ANOVA de un factor o dirección:**

Se trata de probar si el efecto de un factor o Tratamiento en la respuesta de un proceso o sistema es Significativo, al realizar experimentos variando los niveles de ese factor (Temp. 1, Temp. 2, Temp.3, etc.)

Prueba de Hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots \mu_n$

$H_a$ : *Alguna media es diferente*

Condiciones:

- ❖ Todas las poblaciones son normales
- ❖ Todas las poblaciones tienen la misma varianza
- ❖ Los errores son independientes con distribución normal de media cero 3 La varianza se mantiene constante para todos los niveles del factor

**ANOVA de un factor y una variable de bloqueo:**

Se trata de probar si el efecto de un factor o Tratamiento en la respuesta de un proceso o sistema es Significativo, al realizar experimentos variando los niveles de ese factor (Temp.1, Temp.2, etc.) Por RENGLÓN y considerando los niveles de otro factor que se piensa que tiene influencia en la prueba – FACTOR DE BLOQUEO Por COLUMNA

**Prueba de Hipótesis:**

a) Para el tratamiento en renglones

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots \mu_n$

$H_a$ : *Alguna media es diferente*

b) Para el factor de bloqueo en columnas

$H_0 : \mu_1' = \mu_2' = \mu_3' \dots \mu_n$

$H_a$ : *Alguna media es diferente*

**ANOVA de un factor y dos variables de bloqueo – CUADRADO LATINO:**

El diseño de Cuadrado latino utiliza dos factores de bloqueo adicionales al de Tratamiento

El cálculo de suma de cuadrados para renglones y para columnas es similar al de ANOVA de un factor principal y otro de bloqueo.

### **ANOVA de un factor y tres variables de bloqueo – CUADRADO GRECOLATINO:**

El diseño de Cuadrado Grecolatino utiliza tres factores adicionales al del Tratamiento

El cálculo de suma de cuadrados para renglones y para columnas es similar al de ANOVA de un factor principal y otro de bloqueo.

En todos los casos, la  $H_0$  se rechaza sí..

- $F_c > F_{tablas} \rightarrow$  Aceptando  $H_a$  donde las medias son diferentes o también considerando el valor de P-value (del minitab)
- Del correspondiente de  $F_c$   $P < \alpha \rightarrow$  Aceptando  $H_a$  donde las medias son diferentes

#### **2.2.8.8. Entregables de la Fase ANALISIS**

En esta etapa los entregables serían:

- Establecer Capacidad del Proceso
  - Analizar datos gráficamente para la “Y” del proyecto. (datos continuos)
  - Calcular la sigma inicial (de referencia) para la Y del proyecto.
- Definir Objetivos de Desempeño
  - Definir objetivos de rendimiento
- Identificar Fuentes de Variación
  - Identificar las posibles causas de variación
  - Reducir la lista de causas potenciales

La siguiente fase es la de mejora, la cual implica tanto el diseño como la implementación. En esta fase de diseño es muy importante ya que asume una preponderancia fundamental la participación de todos los participantes del proceso, como así también la capacidad creativa, de los mismos; también considera la actividad de benchmarking a los efectos de detectar en otras unidades de la misma empresa o en otras empresas (competidoras o no) formas más efectivas de llevar a cabo un proceso.

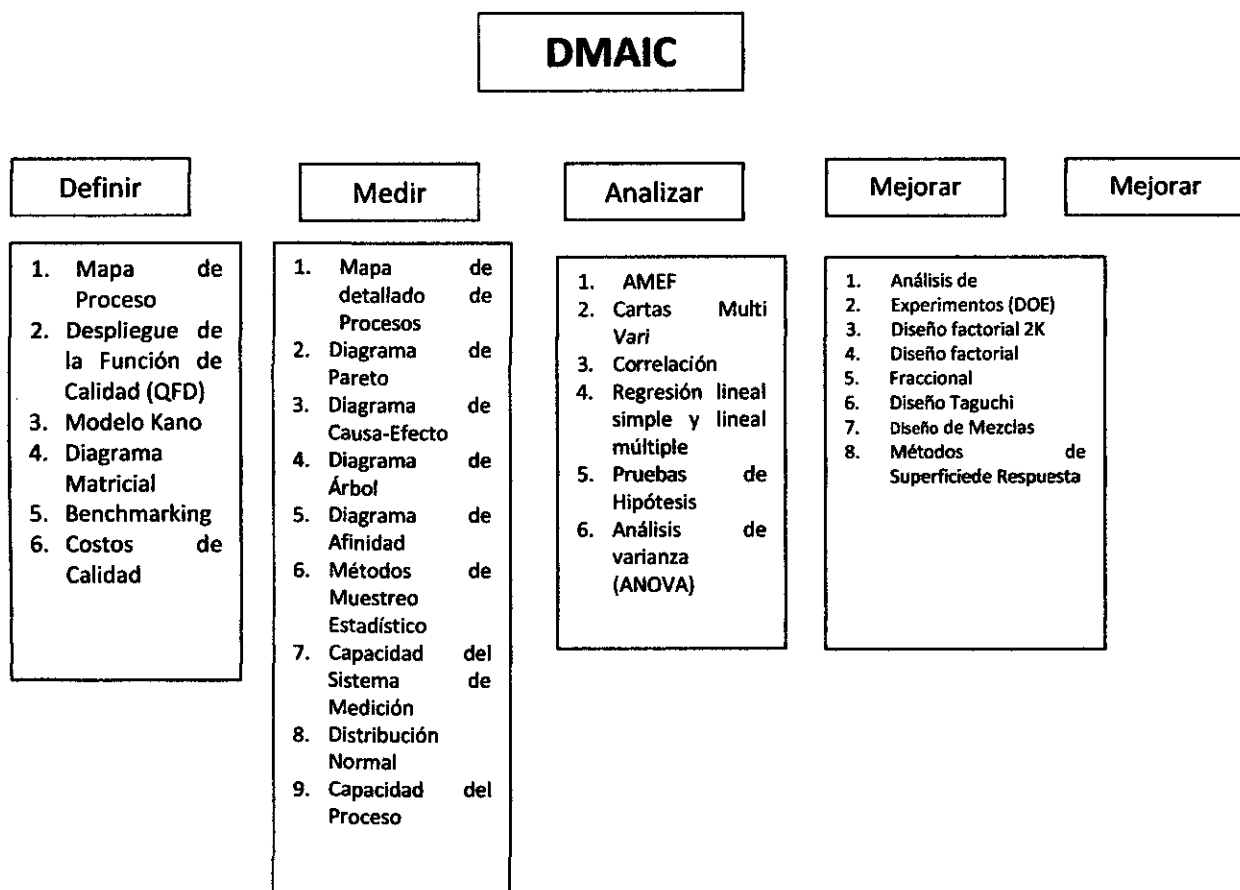
#### **2.2.9. Fase MEJORA**

En la fase de Análisis es cuando el equipo selecciona las características de desempeño del producto que debe ser mejoradas para alcanzar la meta de mejora identificando las mayores fuentes de variación del proceso. Se identificaron las causas de variación. En esta fase se utilizará el diseño de experimentos (DOE), para seleccionar las causas que

más afectan nuestro CTQ e investigar estas causas para conocer el comportamiento del proceso.

El método de DOE consiste en realizar cambios en los niveles de operación de los factores (X's) para obtener los mejores resultados en la respuesta "Y". Esta información es de gran ayuda para la optimización y mejora de procesos.

Las Herramientas a utilizar pueden ser:



**Figura 35: Herramientas en la Fase MEJORA**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

Los objetivos de esta fase son:

- Identificar específicamente cómo el proceso debe ser mejorado.
- Conocer el uso de las herramientas de mejora.

- Conducir el diseño de experimentos para la optimización de procesos.
- Obtener las mejoras del proceso en el proyecto.

Las principales herramientas utilizadas en esta fase son las siguientes:

#### 2.2.9.1. Etapas de la fase de Mejora

Las etapas de la fase mejora son las siguientes:

##### **Mostrar las causas potenciales y caracterización de X's:**

En la fase de análisis encontramos los pocos vitales X's, en esta fase vamos a determinar aquellos que específicamente afectan nuestro proceso. Esto se lleva a cabo a través de datos históricos, conocimiento y discusiones. Con base a lo anterior también deseamos las variables que no son utilizadas. Una opción para realizar esta actividad es mediante el uso del diagrama de Ishikawa.

Los cambios en los parámetros de operación referentes a las X's pueden ser puestos en niveles múltiples, para estudiar cómo afectan la respuesta en el proceso "Y"

El Diseño de Experimentos es un método para probar la significancia, o sea que tanto afectan cada uno de los factores a la variable de respuesta. Y para determinar la interacción entre dichos factores.

##### **Consideraciones:**

- ❖ El Diseño de Experimentos sirve para identificar los pocos vitales de los CTQ's
- ❖ En la optimización es utilizada para determinar los niveles más apropiados de los pocos vitales.
- ❖ Sirve para comparar el resultado experimental contra el proceso actual

#### 2.2.9.2. Diseño de Experimentos (DOE)

Un experimento es una prueba o serie de pruebas en las cuales se hacen modificaciones a las variables de entrada de un proceso o sistema para que puedan ser observadas y definidas las respuestas de salida

Los propósitos del diseño de experimentos son:

- **Determinar**
  - Cuáles variables son de mayor influencia a la salida.
  - Dónde fijar las entradas para producir la salida al nivel deseado.
  - Dónde fijar las entradas de mayor influencia para reducir la variabilidad en la salida.
  - Dónde fijar las entradas controlables para que los efectos de las entradas incontrolables sean minimizados.
- Encontrar la ecuación ( $y = f(x)$ ) para optimizar el proceso

Por lo anterior, los métodos de diseño de experimentos pueden utilizarse ya sea para el desarrollo o la mejora de los procesos, para mejorar el desempeño o para obtener un proceso que sea robusto o insensible a fuentes externas de variabilidad.

Existen diferentes tipos de experimentos entre los cuales se encuentra los siguientes:

<b>Tipos comunes de Experimentos</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Número típico de factores controlables</b>
<b>Factorial Completo</b> (todas las combinaciones de factores y niveles)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encontrar los niveles de factor que proporcionan los mejores resultados.</li> <li>• Construir un modelo matemático (evalúa todas las interacciones)</li> </ul>	4 o menos
<b>Fraccional Factorial</b> (subgrupo del número total de combinaciones)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encontrar los niveles de factor que proporcionan los mejores resultados.</li> <li>• Construir un modelo matemático (evalúa todas las interacciones).</li> </ul>	5 o más
<b>Diseño Central Compuesto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimizar</li> <li>• Construir un modelo matemático cuando no haya efectos lineales (Superficie de respuesta).</li> </ul>	3 o menos
<b>3.1 Diseño Robusto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimizar</li> </ul>	5 o más

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para encontrar los niveles de factores a fin de reducir al mínimo la variación ante factores de ruido cambiantes</li> </ul>	
<b>Diseño Robusto</b> <b>Dinámico de Taguchi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimizar</li> <li>• Optimizar la función de un producto o proceso de manufactura.</li> <li>• Reducir al mínimo la sensibilidad al ruido y aumentar al máximo la sensibilidad a la señal de entrada.</li> </ul>	7 o más

**Tabla 8: Tipos de Experimentos**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

Los métodos de diseño de experimentos pueden también jugar un papel mayor en las actividades de ingeniería de desarrollo de nuevos productos o mejora de los productos actuales. Algunas aplicaciones del diseño de experimentos incluyen:

1. Evaluación y comparación de configuraciones básicas de diseño.
2. Evaluación de alternativas de material.
3. Determinación de parámetros clave de diseño con impacto en el desempeño.

#### **Pasos para Diseñar y Realizar un Diseño de Experimentos**

1. Observar datos históricos y/o recolectar datos para establecer la capacidad actual del proceso debe estar en control estadístico.
2. Determinar el objetivo del experimento (CTQs a mejorar).

#### **Adicionalmente por medio de un equipo de trabajo multidisciplinario**

1. Determinar qué se va a medir como resultado del experimento.
2. Identificar los factores (factores de control y de ruido) que pueden afectar el resultado.
3. Determinar el número de niveles de cada factor y sus valores reales.



4. Seleccionar un esquema experimental que acomode los factores y niveles seleccionados y decidir el número de réplicas.
5. Verificar todos los sistemas de medición ( $R\&R < 10\%$ )
6. Planear y preparar los recursos (gente, materiales, etc.) para llevar a cabo el experimento. Hacer un plan de prueba.
7. Realizar el experimento, marcar partes con la condición experimental que la produce.
8. Medir las unidades experimentales.
9. Analizar los datos e identificar los factores significativos.
10. Determinar la combinación de niveles de factores que mejor alcance el objetivo.
11. Correr un experimento de confirmación con esta combinación "óptima".
12. Asegurar que los mejores niveles para los factores significativos se mantengan por largo tiempo mediante la implementación de Procesos de Operación Estándar y controles visuales.
13. Re evaluar la capacidad del proceso

#### 2.2.9.3. El diseño factorial 2K

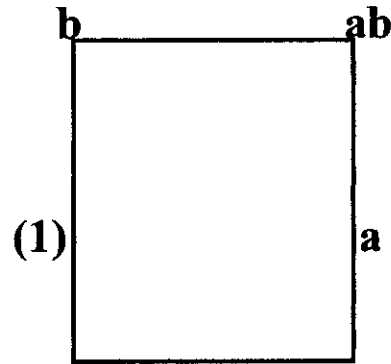
Un diseño muy común es el que considera varios factores (K) en dos niveles ("alto" y "bajo"), el diseño más simple es el diseño 2k

Las cinco razones principales para usar Diseños 2k:

1. La razón número uno para usar factorial es:  $Y = f(x)$
2. Son fáciles de entender y analizar
3. Forman la base de los diseños factoriales fraccionados, material de las técnicas avanzadas
4. Pueden ser aumentados para formar diseños compuestos, en caso que se requiera información más detallada.
5. Requieren de relativamente pocas corridas por cada factor estudiado.

Este el diseño más simple, usa dos factores A y B, cada uno en dos niveles. Requiere la realización de 4 experimentos que pueden replicarse n veces, tomando las sumas de los resultados de las réplicas se tiene:

- (1) A = -, B = -
- (a) A = +, B = -
- (b) A = -, B = +
- (ab) A = +, B = +



**Figura 36: Diseño Experimental  $2^2$**

Los efectos de interés en el diseño son los efectos principales de A y B y los efectos de la interacción AB, se denominan contrastes calculados como sigue:

$$A = \frac{a + ab}{2n} - \frac{b + (1)}{2n} = \frac{1}{2n} (a + ab - b - (1))$$

$$B = \frac{b + ab}{2n} - \frac{a + (1)}{2n} = \frac{1}{2n} (b + ab - a - (1))$$

$$AB = \frac{ab + (1)}{2n} - \frac{a + b}{2n} = \frac{1}{2n} (ab + (1) - a - b)$$

Las cantidades entre paréntesis se denominan contrastes, aquí los coeficientes siempre son +1 ó - 1. También se pueden determinar usando una tabla de signos para los efectos en el diseño  $2^2$  como sigue:

Efectos factoriales

Corrida			I	A	B	AB	
1	(1)	+	-	-	+		ANOVA
2	a	+	+	-	-		Fo = SST / SSE
3	b	+	-	+	-		glSST = 4n - 1
4	ab	+	+	+	+		gl.SSE = 4(n-1)

Para obtener la suma de cuadrados de A, B, y AB se usa:

$$SS = \frac{(\text{contraste})^2}{n \sum (\text{coeficientes de contrastes})^2}$$

Por tanto la suma de cuadrados para A, B y AB es:

$$SSA = \frac{1}{4n} (a + ab - b - (1))^2$$

$$SSB = \frac{1}{4n} (b + ab - a - (1))^2$$

$$SSAB = \frac{1}{4n} (ab + (1) + -a - b)^2$$

#### 2.2.9.4. El diseño Factorial Fraccional

Cuando crece el número de factores, aparecen tantas combinaciones en los ensayos factoriales, que es prudente reducir la labor experimental. En lugar de ejecutar el ensayo completo con un número muy alto de tentativas, se recurre a los diseños factoriales fraccionales o incompletos, donde, en lugar de analizar la totalidad de las posibilidades, se considera una fracción bien elegida. Con cinco factores a tres niveles se llegan a 243 combinaciones posibles y si la tarea se redujese a una fracción de un tercio, bastarían 81 ensayos. Si fuese 1/9, tendríamos 27. La ventaja de este enfoque es que reduciendo mucho el esfuerzo, no se pierde un panorama muy amplio y ambicioso de las relaciones

entre causas y efectos en sistemas multivariados. El estudio de una fracción no le quita validez al análisis final.

### **Ventajas**

- Se pueden obtener conclusiones parecidas que con experimentación de diseños factoriales completos con menos experimentos ( $\frac{1}{2}$  o  $\frac{1}{4}$ )
- Dado que en muchos casos las interacciones no son significativas, no importa que su efecto se confunda con los de los factores principales
- Resulta más económico

### **Desventajas**

- En muchos casos sólo se pueden estimar los efectos principales de los factores (diferencia de promedios)

#### **2.2.9.5. El Diseño Taguchi**

Sugiere tres pasos que son:

- a) Diseño del sistema
- b) Diseño de parámetros
- c) Diseño de tolerancias

De estas tres etapas, la más importante es el diseño de parámetros cuyos objetivos son:

- i. Identificar qué factores afectan la característica de calidad en cuanto a su magnitud y en cuanto a su variabilidad.
- ii. Definir los niveles “óptimos” en que debe fijarse cada parámetro o factor, a fin de optimizar la operación del producto y hacerlo lo más robusto posible.
- iii. Identificar factores que no afecten substancialmente la característica de calidad a fin de liberar el control de estos factores y ahorrar costos de pruebas.

#### **2.2.9.6. El diseño de Mezclas**

Este procedimiento permite diseñar y crear un experimento para manejar situaciones donde los componentes se mezclan para formar una combinación química. Se puede

utilizar el diseño "simplex-lattice" cuando los datos se encuentran distribuidos regularmente sobre una región de superficie de respuesta y el diseño "simplex-centroid" cuando los valores de los datos se distribuyen alrededor del centro de la región de superficie de respuesta.

Todos los diseños incluyen estimaciones de modelos lineales, cuadráticas, cúbicas, cúbicas especiales y gran cantidad de gráficos para visualizar los resultados.

#### **Características:**

- ❖ Los factores independientes son proporciones de diferentes componentes de una mezcla.
- ❖ Cuando las proporciones tienen la restricción de sumar la unidad se pueden utilizar modelos de estructura Simplex o Simplex con centroide.
- ❖ Cuando además algunos componentes tienen la restricción adicional de tener un valor máximo o mínimo los modelos a utilizar son los de Vértices extremos.
- ❖ Un diseño de estructura Simplex para  $q$  componentes cuya proporción puede tomar los niveles  $m+1$  igualmente espaciados entre 0 y 1.

$$X_i = 0, 1/m, 2/m, \dots, 1 \text{ para } i = 1, 2, \dots, \text{que}$$

#### **2.2.9.7. Entregables de la fase MEJORA**

En esta etapa los entregables serían:

- Filtrar Causas Potenciales
  - Verificar las  $x$ 's vitales
- Relacionar Variables y Proponer soluciones
  - Generar una función de transferencia para optimizar los cambios de las  $x$ 's críticas
  - Proponer la solución
  - Refinar la solución
- Establecer y probar las Tolerancias

- Establecer las tolerancias operativas para las x's vitales.

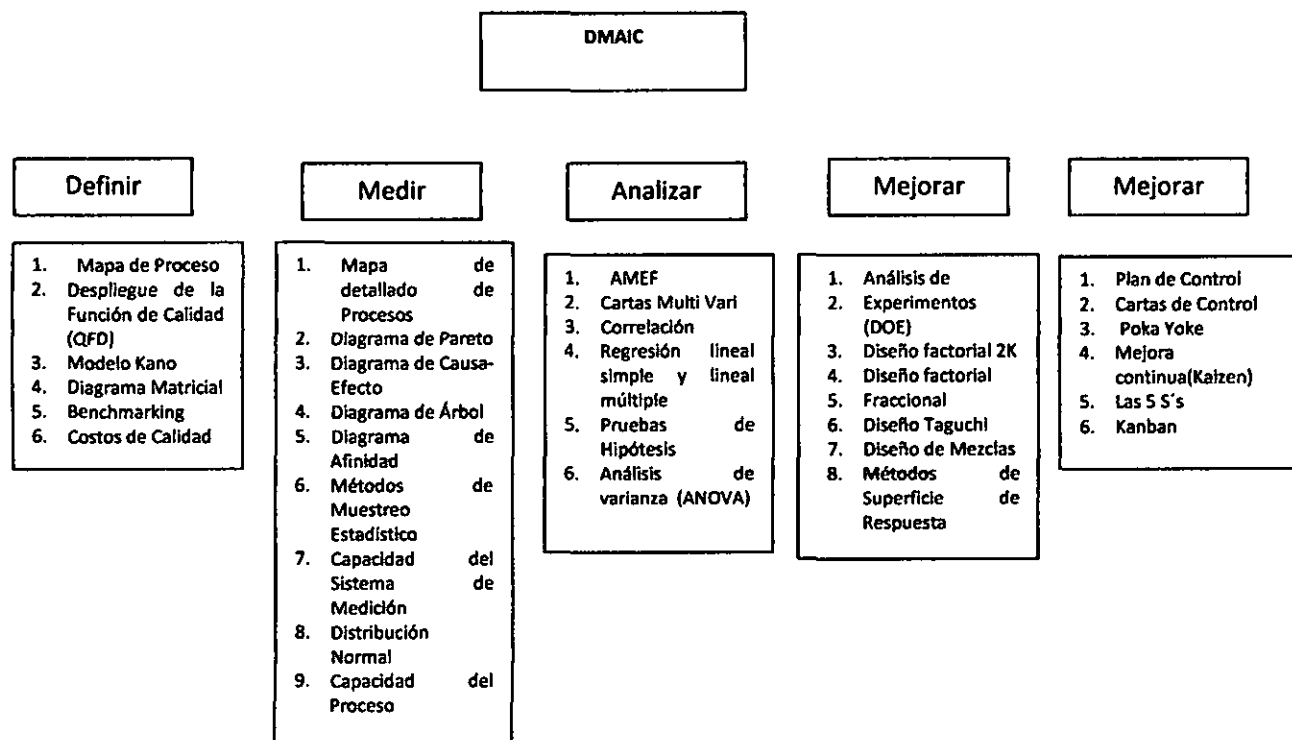
La última fase, control, consiste en diseñar y documentar los controles necesarios para asegurar que lo conseguido mediante el proyecto Seis Sigma se mantenga una vez que se hayan implantado los cambios. Cuando se han logrado los objetivos y la misión se dé por finalizada, el equipo informa a la dirección y se disuelve.

#### **2.2.10. Fase CONTROL**

Una vez implementadas las mejoras en nuestro proceso, el último paso es asegurar que las implementaciones se mantengan y estén siendo actualizadas a través del tiempo, nuestras salidas serán:

- Plan de control y métodos de control implementados
- Capacitación en los nuevos métodos
- Documentación completa y comunicación de resultados, lecciones aprendidas y recomendaciones

Las Herramientas a utilizar pueden ser:



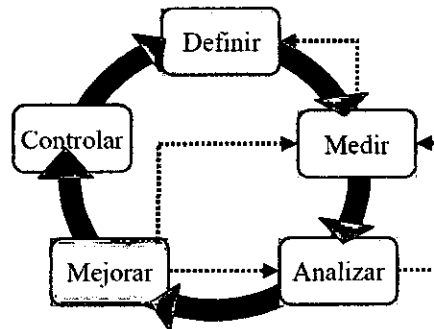
**Figura 37: Herramientas en la Fase CONTROL**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

Los objetivos de esta fase son:

- ❖ Mantener las mejoras por medio de control estadístico de procesos, Poka Yokes y trabajo estandarizado
- ❖ Anticipar mejoras futuras y preservar las lecciones aprendidas de este esfuerzo
- ❖ Uso de las herramientas de control.
- ❖ Verificar que las implementaciones se sigan y estén bajo control.
- ❖ Identificar las actividades o procesos que están fuera de control para corregirlos inmediatamente.
- ❖ Que las mejoras sean implementadas consistentemente para tener un adecuado control.

Los proyectos Six-Sigma se van actualizando constantemente. En la siguiente gráfica observamos que la metodología es cíclica, también se puede regresar de una fase a otra,

en caso de no haber obtenido la información necesaria, pero lo que no está permitido es saltar fases.



**Figura 38: Representación cíclica de la Metodología DMAIC**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

#### 2.2.10.1. Etapas de la fase de control

Las etapas de esta fase son las siguientes:

##### **Validar el sistema de medición.**

En la Fase de Medición validamos el sistema de medición para las Y's, en este punto se utiliza la misma metodología, con la diferencia de que ahora mediremos las X's del proceso, el plan será validado para las X's

##### **Determinar la capacidad del proceso.**

La capacidad del proceso solo tiene sentido cuando el proceso está bajo control.

##### **Control de Proceso y Capacidad del Proceso**

	Bajo control	Sin control
Cumple requerimientos	Caso 1	Caso 3
No cumple requerimientos	Caso 2	Caso 4

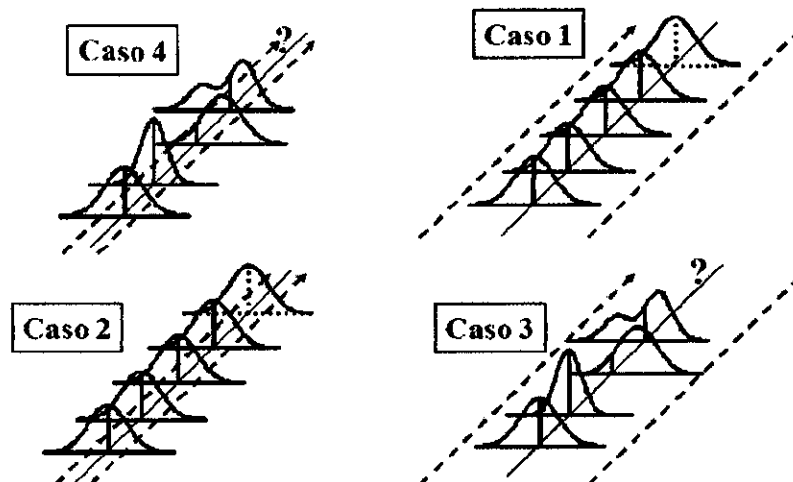
##### ➤ Caso 1

- Proceso ideal



- Bajo control estadístico cumple con los requerimientos del cliente
- Caso 2
  - Bajo control
  - Tiene excesivas causa comunes de variación que debe ser reducidas
- Caso 3
  - Cumple los requerimientos pero deben reducir las causas especiales de variación
- Caso 4
  - Sin control y no aceptable
  - Se deben reducir ambas causas de variación, comunes y espaciales.

Identificación de los casos:



**Figura 39: Diferentes casos de control de proceso**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

#### **Implementar el sistema de control.**

Los procesos tienden a degradarse con el tiempo, por lo que es de gran importancia la implementación de un plan de control para cada X's, para establecer el pan es necesario tener procesos y procedimientos documentados y entrenar al personal que llevará a cabo esta actividad.

Una vez implementadas las mejoras se vuelven a calcular los niveles sigma del proceso, para saber en qué nivel nos encontramos actualmente. (Ver Fase de Medición)

**Un plan de control es:**

- Un resumen de todas las actividades de control para el proceso.
- Un método para identificar deficiencias en el sistema de control.
- Una lista de las actividades de control para implantar.
- Una entrada al AMEF (Procesos maduros).
- Una salida para el AMEF (procesos nuevos).

**Planes de control del proceso. ¿Cuál es el punto?**

La intención del proceso de control es:

- Correr el proceso en el objetivo
- Minimizar la variación sobre el objetivo
- Minimizar los ajustes requeridos y el sobre-control
- SIEMPRE conocer los requerimientos del cliente

El propósito del plan de control es:

- Institucionalizar las mejoras del proceso
- Destacar áreas que requieren educación extra
- Proveer procedimientos de un sólo paso para el control de la información

**Desarrollo de un plan de control del proceso Entradas para el plan de control:**

- Mapa de proceso final y AMEF O FMEA
- Documentación del proceso
- Requerimientos del cliente
- Estudios de capacidad
- Mantenimiento de procedimientos
- Materiales de entrenamiento
- Guías de solución de problemas

- Calendarios de Calibración
- Ventanas de operación
- Planes de acción fuera de control

### **Identificación del proceso**

Paso del proceso:

- Del mapa de proceso. Mantener coherencia en nombres con el mapa de proceso, AMEF, etc.
- Sólo Alto riesgo, pasos críticos del proceso.

¿Qué está controlado?

- Nombre de la entrada o la salida.

¿Entrada o Salida? – Especificar

- Inicialmente, el plan debe tener más controles en las salidas que en las entradas.
- Las metas son para el control de la entrada, no el monitoreo de la salida

### **Especificaciones y Medición**

Límites de Especificación / requerimientos

- Listar el objetivo y las tolerancias para cada entrada y salida crítica

Método de Medición

- ¿Qué proceso o máquina hace la medición?

Método de Control

- ¿Qué método se utiliza para el control? ¿SPC? ¿SPM?
- ¿Automatización? ¿Pre-control? ¿Aislar el error? (Más en el módulo siguiente)

### **Tamaño, Frecuencia y Responsabilidad**

Tamaño de muestra

- Seleccionar el tamaño de muestra sobre la base del sistema de medición y capacidad del proceso

### **Frecuencia de la muestra**

- Seleccionar la frecuencia basada en el sistema de medición, capacidad del proceso y

requerimientos de la operación

¿Quién / qué hace la medición?

- ¿Quién es responsable de asegurar que los datos se tomen y que sean correctos?

Acción y Documentación

¿Dónde se registra?

- ¿Dónde residen los datos? ¿Bases de datos, gráficas, ambas? Regla de decisión / Acción correctiva
- ¿Qué pasa cuando el proceso está fuera de control?

PLAN DE CALIDAD VARIABLES CRÍTICAS											
CLAVE		ATRICOI		REVISION		FECHA:		HOJA:			
PRO- CESO	OPERACIÓN	ANÁLISIS	ESTÁNDAR	FRECUENCIA	DOCUMENTO DE REFERENCIA	REGISTRO DE CALIDAD	PROD. NO CONF.	CRIT. DE RECHAZO	LUGAR DE MUESTREO	RESPONSABLE	INSTRUMENTO O PERSONA

**Figura 40: Ejemplo de un plan de Control**  
BAHENA QUINTANILLA (2006)

#### 2.2.10.2. Cartas de Control

Las cartas de control son la herramienta más poderosa para monitorear y analizar la variación en la mayoría de los procesos.

Las cartas de control enfocan la atención hacia las causas especiales de variación cuando estas aparecen y reflejan la magnitud de la variación debida a las causas comunes, manteniendo las soluciones.

Las causas comunes o aleatorias se deben a la variación natural del proceso.

Las causas especiales o asignables son por ejemplo: un mal ajuste de máquina, errores del operador, defectos en materias primas.

Un proceso está bajo Control Estadístico cuando presenta causas comunes únicamente, con un proceso estable y predecible.

Cuando existen causas especiales el proceso está fuera de Control Estadístico; las cartas de control detectan la existencia de estas causas en el momento en que se dan, lo cual permite que podamos tomar acciones al momento.

En resumen podemos decir que una Carta de Control es:

- ❖ Simplemente un registro de datos en el tiempo con límites de control superior e inferior.
- ❖ Una carta de control identifica los datos secuenciales en patrones normales y anormales.
- ❖ El patrón normal de un proceso se llama causas de variación comunes.
- ❖ El patrón anormal debido a eventos especiales se llama causa especial de variación.
- ❖ Tener presente que los límites de control NO son límites de especificación.

**Ventajas:**

- Es una herramienta simple y efectiva para lograr un control estadístico.
- El operario puede manejar las cartas en su propia área de trabajo, por lo cual puede dar información confiable a la gente cercana a la operación en el momento en que se deben de tomar ciertas acciones.
- Cuando un proceso está en control estadístico puede predecirse su desempeño respecto a las especificaciones. En consecuencia, tanto el proveedor como el cliente pueden contar con niveles consistentes de calidad y ambos pueden contar con costos estables para lograr ese nivel de calidad.
- Una vez que un proceso se encuentra en control estadístico, su comportamiento puede ser mejorado posteriormente reduciendo la variación.
- Al distinguir entre las causas especiales y las causas comunes de variación, dan una buena indicación de cuándo un problema debe ser corregido localmente y cuando se requiere de una acción en la que deben de participar varios departamentos o niveles de la organización.

**2.2.10.3. Cartas de control por variables y por atributos**

En Control de Calidad mediante el término variable se designa a cualquier característica de calidad “medible” tal como una longitud, peso, temperatura, etc. Mientras que se denomina atributo a las características de calidad que no son medibles y que presentan diferentes estados tales como conforme y disconforme o defectuoso y no defectuoso.

Según sea el tipo de la característica de calidad a controlar así será la carta de control correspondiente, por tanto, se clasifican en Cartas de Control por Variables y Cartas de Control por Atributos.

### **Cartas de control por atributos**

Cualquier característica de calidad que pueda ser clasificada de forma binaria: “cumple o no cumple”, “funciona o no funciona”, “pasa o no pasa”, etc., a los efectos de control del proceso, será considerado como un atributo y para su control se utilizará una Carta de Control por Atributos.

Los criterios de aceptación al utilizar gráficas de control por atributos deben estar claramente definidos y el procedimiento para decidir si esos criterios se están alcanzando es producir resultados consistentes a través del tiempo. Este procedimiento consiste en definir operacionalmente lo que se desea medir. Una definición operacional consiste en:

- 1°. Un criterio que se aplica a un objeto o a un grupo
- 2°. Una prueba del objeto o del grupo y
- 3°. Una decisión, sí o no: El objeto o el grupo alcanza o no el criterio.

### **Gráfica P para Fracción de Unidades Defectuosas (atributos)**

La gráfica p mide la fracción defectuosa o sea las piezas defectuosas en el proceso. Se puede referir a muestras de 75 piezas, tomada dos veces por día; 100% de la producción durante una hora, etc. Se basa en la evaluación de una característica (¿se instaló la pieza requerida?) o de muchas características (¿se encontró algo mal al verificar la instalación eléctrica?). Es importante que cada componente o producto verificado se registre como aceptable o defectuoso (aunque una pieza tenga varios defectos específicos se registrará sólo una vez como defectuosa).

### **Comparación de las cartas de control por variables vs. Atributos**

	<b>Cartas de Control por VARIABLES</b>	<b>Cartas de control por ATRIBUTOS</b>
Ventajas Significativas	Conducen a un mejor procedimiento de control  Proporcionan una utilización máxima de la información disponible de datos	Son potencialmente aplicables a cualquier proceso
		Los datos están a menudo disponibles.
		Son rápidos y simples de obtener.
		Son fáciles de interpretar.
		Son frecuentemente usados en los informes a la gerencia
		Más económicas
Ventajas Significativas	No se entienden menos que se de capacitación. Puede causar confusión entre los límites de especificación y los límites de tolerancia	No proporciona información detallada del Control de características individuales.
		No reconoce distintos grados de defectos en las unidades de producto

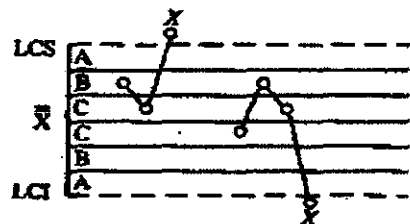
**Tabla 9: Ventajas entre Gráficos de control por variables y atributos**  
THOMAS PYZDEK, 2003 *"Six Sigma Handbook"*

#### **Campos de aplicación de las cartas**

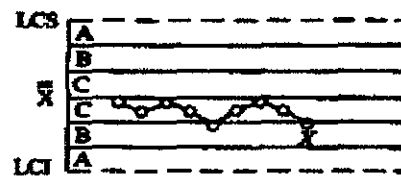
Tipo	Carta	Descripción	Campo de aplicación.
Variables	X –	Medias y Rangos Medias y desviación estándar.	Control de características individuales. Control de características individuales. Control de un proceso

	R SX- I-MR	Individuales	con datos variables que no pueden
Atributos	P	Proporciones o fracción defectiva	Control de la fracción global de defectuosos de un proceso
	NP	Número de defectuosos	Control del número de piezas defectuosas
		Defectos por unidad	Control de número global de defectos por unidad
	C U	Promedio de defectos por unidad	Control del promedio de defectos por unidad.

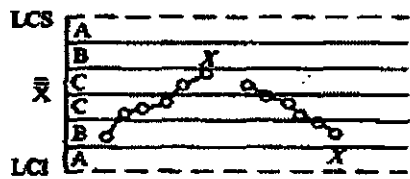
**Tabla 10: Campos de aplicación de los Gráficos de Control**  
 THOMAS PYZDEK, 2003 "Six Sigma Handbook"



Prueba 1. Un punto fuera de la zona A



Prueba 2. Nueve puntos seguidos en la zona C o más allá

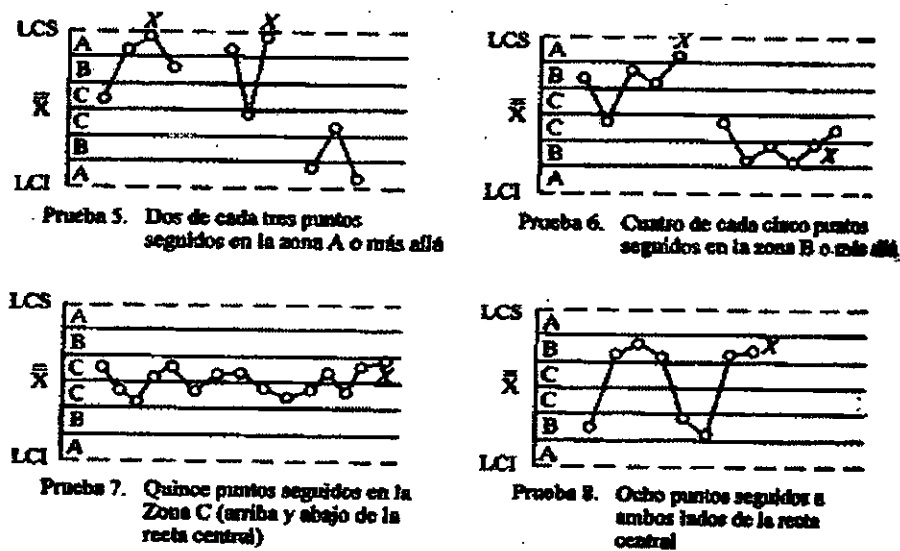


Prueba 3. Seis puntos seguidos con aumento o disminución estables



Prueba 4. Catorce puntos seguidos alternando arriba y abajo





**Figura 41: Patrones fuera de control**  
 THOMAS PYZDEK, 2003 "Six Sigma Handbook"

#### 2.2.10.4. Carta de Individuales y rango móvil (Datos variables I-MR).

- ❖ A menudo esta carta se llama "I" o "Xi".
- ❖ Esta Carta monitorea la tendencia de un proceso con datos variables que no pueden ser muestreados en lotes o grupos.
- ❖ Este es el caso cuando la capacidad de corto plazo se basa en subgrupos racionales de una unidad o pieza.
- ❖ Este tipo de gráfica es utilizada cuando las mediciones son muy costosas (Por ejemplo Pruebas destructivas), o cuando la característica a medir en cualquier punto en el tiempo es relativamente homogénea (por ejemplo el PH de una solución química)
- ❖ La línea central se basa en el promedio de los datos, y los límites de control se basan en la desviación estándar (+/- 3 sigmas)

#### 2.2.10.5. Dispositivos a Prueba de Error o Poka Yokes

Poka-yoke es una técnica de calidad desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo en los años 1960's, que significa "a prueba de errores". La idea principal es la de crear un proceso donde los errores sean imposibles de realizar.

La finalidad del Poka-yoke es la eliminar los defectos en un producto ya sea previniendo o corrigiendo los errores que se presenten lo antes posible.

Un dispositivo Poka-yoke es cualquier mecanismo que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace que sean muy obvios para que el trabajador se dé cuenta y lo corrija a tiempo.

El concepto es simple: si los errores no se permite que se presenten en la línea de producción, entonces la calidad será alta y el retrabajo poco. Esto aumenta la satisfacción del cliente y disminuye los costos al mismo tiempo. El resultado, es de alto valor para el cliente. No solamente es el simple concepto, pero normalmente las herramientas y/o dispositivos son también simples.

Los sistemas Poka-yoke implican el llevar a cabo el 100% de inspección, así como, retroalimentación y acción inmediata cuando los defectos o errores ocurren. Este enfoque resuelve los problemas de la vieja creencia que el 100% de la inspección toma mucho tiempo y trabajo, por lo que tiene un costo muy alto.

La práctica del sistema Poka-yoke se realiza más frecuentemente en la comunidad manufacturera para enriquecer la calidad de sus productos previniendo errores en la línea de producción.

Un sistema Poka-Yoke posee dos funciones: una es la de hacer la inspección del 100% de las partes producidas, y la segunda es si ocurren anomalías puede dar retroalimentación y acción correctiva. Los efectos del método Poka-Yoke en reducir defectos va a depender en el tipo de inspección que se esté llevando a cabo, ya sea: en el inicio de la línea, auto-chequeo, o chequeo continuo.

Los efectos de un sistema poka-yoke en la reducción de defectos varían dependiendo del tipo de inspección.

### **Funciones reguladoras Poka-yoke**

Existen dos funciones reguladoras para desarrollar sistemas Poka-Yoke:

#### **1. Métodos de Control**

Existen métodos que cuando ocurren anomalías apagan las máquinas o bloquean los sistemas de operación previniendo que siga ocurriendo el mismo defecto. Estos tipos de métodos tienen una función reguladora mucho más fuerte, que los de tipo preventivo, y por lo tanto este tipo de sistemas de control ayudan a maximizar la eficiencia para alcanzar cero defectos.

No en todos los casos que se utilizan métodos de control es necesario apagar la máquina completamente, por ejemplo cuando son defectos aislados (no en serie) que se pueden corregir después, no es necesario apagar la maquinaria completamente, se puede diseñar un mecanismo que permita "marcar" la pieza defectuosa, para su fácil localización; y después corregirla, evitando así tener que detener por completo la máquina y continuar con el proceso.

## **2. Métodos de Advertencia**

Este tipo de método advierte al trabajador de las anomalías ocurridas, llamando su atención, mediante la activación de una luz o sonido. Si el trabajador no se da cuenta de la señal de advertencia, los defectos seguirán ocurriendo, por lo que este tipo de método tiene una función reguladora menos poderosa que la de métodos de control.

En cualquier situación los métodos de control son por mucho más efectivos que los métodos de advertencia, por lo que los de tipo control deben usarse tanto como sean posibles. El uso de métodos de advertencia se debe considerar cuando el impacto de las anomalías sea mínimo, o cuando factores técnicos y/o económicos hagan la implantación de un método de control una tarea extremadamente difícil.

## **Clasificación de los métodos Poka-yoke**

- I. Métodos de contacto. Son métodos donde un dispositivo sensitivo detecta las anomalías en el acabado o las dimensiones de la pieza, donde puede o no haber contacto entre el dispositivo y el producto.
- II. Método de valor fijo. Con este método, las anomalías son detectadas por medio de la inspección de un número específico de movimientos, en casos donde las operaciones deben de repetirse un número predeterminado de veces.

- III. Método del paso-movimiento. Estos son métodos en el cual las anomalías son detectadas inspeccionando los errores en movimientos estándares donde las operaciones son realizadas con movimientos predeterminados. Este extremadamente efectivo método tiene un amplio rango de aplicación, y la posibilidad de su uso debe de considerarse siempre que se esté planeando la implementación de un dispositivo Poka-Yoke.

#### **2.2.10.6. Mejora Continua-Kaizen**

¿Qué significado tiene la palabra Kaizen? Es una palabra japonesa compuesta por otras dos palabras, una KAI que significa “cambio” y la otra ZEN que significa “bueno”, lo que implica que KAIZEN signifique “cambio para mejorar” y, como dicho cambio para mejorar es algo que continuamente debe buscarse y realizarse el significado termina siendo “mejora continua”.

#### **Ventajas y beneficios del Kaizen**

El Kaizen es un sistema de mejora continua e integral que comprende todos los elementos, componentes, procesos, actividades, productos e individuos de una organización. No importa a que actividad se dedique la organización, si es privada o pública, y si persigue o no beneficios económicos, siempre debe mejorar su performance a los efectos de hacer un mejor y más eficiente uso de los escasos recursos, logrando de tal forma satisfacer la mayor cantidad de objetivos posibles. Mucho más es necesaria la mejora continua cuando se trata de actividades plenamente competitivas, se trate de lo económico, en lo deportivo, o en cualquier otro orden.

La mejora continua es no sólo necesaria, sino además una obligación permanente del ser humano para consigo mismo y la sociedad. La mejora continua hace a la cultura, ética y disciplina de toda sociedad que piense avanzar y participar en los avances y adelantos de la humanidad.

El kaizen ideado por consultores y empresas japonesas se ha diseminado en empresas de otras naciones vía círculos de calidad, sistemas de producción just-in-time, mantenimiento productivo total, tablas de costes, sistema de sugerencias, y métodos

rápidos de preparación de máquinas-herramientas; logrando sorprendentes e importantes resultados.

De lo que se trata es de adecuar las diferentes herramientas, instrumentos y métodos que hacen al kaizen, a las características de cada empresa y cultura. Es en éste particular aspecto donde el Desarrollo Organización cobra como técnica y disciplina un incuestionable y gran valor, permitiendo evaluar las características socio-culturales propias de cada empresa, ajustando los diversos sistemas productivos a las características de las mismas, como así también facilitando el reacomodamiento y cambio psico-social por parte de los integrantes de la organización.

A la hora de inventariar las ventajas y beneficios en la implementación y puesta en práctica del sistema kaizen cabe apuntar las siguientes:

- Reducción de inventarios, productos en proceso y terminados.
- Disminución en la cantidad de accidentes.
- Reducción en fallas de los equipos y herramientas.
- Reducción en los tiempos de preparación de maquinarias.
- Aumento en los niveles de satisfacción de los clientes y consumidores.
- Incremento en los niveles de rotación de inventarios.
- Importante caída en los niveles de fallas y errores.
- Mejoramiento en la autoestima y motivación del personal.
- Altos incrementos en materia de productividad.
- Importante reducción en los costes.
- Mejoramiento en los diseños y funcionamiento de los productos y servicios.
- Aumento en los beneficios y rentabilidad.
- Menores niveles de desperdicios y despilfarros. Con su efecto tanto en los costes, como así también en los niveles de polución ambiental, entre otros.
- Notables reducciones en los ciclos de diseño y operativos.
- Importantes caídas en los tiempos de respuestas.
- Mejoramiento en los flujos de efectivo.
- Menor rotación de clientes y empleados.
- Mayor y mejor equilibrio económico-financiero. Lo cual trae como consecuencia una

mayor solidez económica.

- Ventaja estratégica con relación a los competidores, al sumar de forma continua mejoras en los procesos, productos y servicios. Mediante la mejora de costos, calidad, diseño, tiempos de respuesta y servicios a los consumidores.
- Acumulación de conocimientos y experiencias aplicables a los procesos organizacionales.
- Derribar las barreras o muros interiores, permitiendo con ello un potente y auténtico trabajo en equipo.

Estas son razones suficientes para pensar seriamente en aplicar el kaizen en las organizaciones. No hacerlo privará a sus propietarios, directivos, personal, clientes y a la sociedad en su conjunto, de las ventajas de generar auténticos y sólidos puestos de trabajo que permitan generar productos con valor agregado, calidad de vida laboral, altos rendimientos sobre la inversión, más y mejores productos y servicios, y menores niveles de desperdicios.

La mejora continua es lo que permite al mundo gozar cada día de mejores productos, mejores comunicaciones, mejores medicamentos, entre muchísimas otras cosas. Hay empresas, sociedades, gobiernos y países que aceptan el reto, y otras que sólo se limitan a ver como otros mejoran. La mejora continua es compromiso con el conocimiento, la calidad y la productividad. Requiere de ética y disciplina, como de planes estratégicos que permitan lograr mejoras graduales, continuas e integrales. En una era del conocimiento como lo es ésta Tercer Ola pasarán a ocupar los primeros lugares aquellos individuos, organizaciones, y sociedades que hagan del conocimiento y perfeccionamiento sistemático su objetivo prioritario.

#### 2.2.10.7. Las 5 S's

¿Qué significan las 5 S's?

- ❖ Seiri: clasificar, organizar, arreglar apropiadamente
- ❖ Seiton: orden
- ❖ Seiso: limpieza
- ❖ Seiketsu: limpieza estandarizada

❖ **Shitsuke:** disciplina

❖ **Seiri:** eliminar

Consiste en retirar del área de trabajo todos aquellos elementos que no son necesarios para realizar la labor. No hay que pensar en que este o aquel elemento podría ser útil en otro trabajo o si se presenta una situación muy especial, los expertos recomiendan que ante estas dudas hay que desechar dichos elementos.

**Seiton: Ordenar:**

Es la organización de los elementos necesarios de modo que resulten de fácil uso y acceso, los cuales deberán estar, cada uno, etiquetados para que se encuentren, retiren y devuelvan a su posición, fácilmente por los empleados. Se deben usar reglas sencillas como: lo que más se usa debe estar más cerca, lo más pesado abajo lo liviano arriba, etc.

**Seiso: Limpiar:**

Incluye, además de la actividad de limpiar las áreas de trabajo y los equipos, el diseño de aplicaciones que permitan evitar o disminuir la suciedad y hacer más seguros los ambientes de trabajo. A través de la limpieza se pueden identificar fallas, por ejemplo, si todo está limpio y sin olores extraños es más probable que se detecte un principio de incendio o un mal funcionamiento de un equipo por una fuga de fluidos, etc.

**Seiketsu: Estandarizar:**

Esta práctica pretende mantener el estado de limpieza y organización alcanzado con la aplicación de las primeras tres S, el seiketsu solo se obtiene cuando se trabajan continuamente los tres principios anteriores. En esta etapa (que debe ser permanente), son los trabajadores quienes adelantan programas y diseñan mecanismos que les permitan beneficiarse a sí mismos.

**Shitsuke: Disciplina:**

En esta etapa se busca evitar que se rompan los procedimientos ya establecidos. Solo si se implanta la disciplina y el cumplimiento de las normas y procedimientos ya adoptados se podrá disfrutar de los beneficios que ellos brindan.

Como un aspecto preliminar al esfuerzo de las 5 S, debe asignarse un tiempo para analizar la filosofía implícita en las 5 S y sus beneficios:

- ❖ Creando ambientes de trabajo limpios, higiénicos, agradables y seguros.
- ❖ Revitalizando el gemba (campo/piso de trabajo) y mejorando sustancialmente el estado de ánimo, la moral y la motivación de los empleados.
- ❖ Eliminando las diversas clases de mudas (desperdicios), minimizando la necesidad de buscar herramientas, haciendo más fácil el trabajo de los operadores, reduciendo el trabajo físicamente agotador y liberando espacio.

Beneficios de la aplicación de manera constante de las 5 S's:

- ❖ Ayuda a los empleados a adquirir autodisciplina
- ❖ Destaca los muchos y diversos tipos de mudas
- ❖ Ayuda a detectar productos defectuosos y excedentes de inventario
- ❖ Reduce el movimiento innecesario y el trabajo agotador
- ❖ Facilita identificar visualmente los problemas relacionados con escasez de materiales, líneas desbalanceadas, averías en las máquinas y demoras de entrega.
- ❖ Resuelve de manera simple problemas de logística en el gemba.
- ❖ Hace visible los problemas de calidad.
- ❖ Mejora la eficiencia en el trabajo y reduce los costos de operación
- ❖ Reduce los accidentes y enfermedades de trabajo
- ❖ Mejora la relación de la empresa con los consumidores y la comunidad.

#### **2.2.10.8. Entregables de la fase CONTROL**

En esta etapa los entregables serían:

- Validar Sistema de Medición (x)
  - Validar el Sistema de Medición (mejorado)
  - Determinar si el Sistema de Medición es apropiado para obtener variables X's Vitales
- Determinar Capacidad del Proceso
  - Evaluar la capacidad del Proceso mejorado



- Confirmar estadísticamente que la meta de mejora fue alcanzada
- Sistema Control del Proceso y Cerrar Proyecto.
  - Implementar la estrategia de control de cada variable Xs Vital
  - Preparar el Plan de Control del Proceso
  - Implantar la solución
  - Cerrar el Proyecto

### **CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA**

#### **“PROYECTO REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE CUCHILLAS EN EL PROCESO DE CORTE EN LA FABRICACION DE PAPEL TISSUE”**

El siguiente estudio a empezar, nos sumerge dentro del camino de proyectos de mejora, se enfocará en elevar el rendimiento del proceso de corte de una industria papelera, de 400,000 cortes/cuchilla (promedio) hacia uno que superior, para así de esta forma alcanzar una métrica sigma dentro de rangos que superen el 99 % de productos libre de defectos.

##### **3.1. Metodología DMAIC: DEFINICION**

Actualmente en la empresa dedicada a la fabricación de papel tissue, dentro de la etapa de corte, está presentando rendimientos muy por debajo de los estándares corporativos, por ende el consumo de sus insumos es elevado, y aunque se conocen algunas variables que intervienen en el proceso, se desconoce la razón de este comportamiento.

El siguiente estudio a empezar, nos sumerge dentro del camino de proyectos de mejora, se enfocará en elevar el rendimiento del proceso de corte de una industria papelera, de 400,000 cortes/cuchilla (promedio) hacia uno que superior, para así de esta forma alcanzar una métrica sigma dentro de rangos que superen el 99 % de productos libre de defectos.

En un análisis previo, se espera obtener ahorros que superen los 100,000 USD al año

El proceso de corte utiliza como insumo *Cuchillas Chromalit circulares acero D2*, que en los últimos meses, desde el mes de Julio 2012, se observa claramente desviaciones del consumo de estas cuchillas por encima del 30 % respecto a los meses anteriores llegando a consumir en promedio 51 cuchillas/mes con un rendimiento de 450,000 cortes/cuchilla, y entre 50-55 % menos respecto al benchmarking de la compañía en el mundo y el indicador de productos defectuosos por mal corte representa un 2 % de la producción<sup>5</sup> que se estima podría llegar a 16 Toneladas al mes, lo que se traduciría en un costo de más de 30 000 USD mensuales por reproceso.

MES	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
# Cuchillas	56	69	67	61	51	59

<sup>5</sup> Extraído de los indicadores de producción y eficiencia de la compañía

<b>Rendimiento (Cortes /cuchilla)</b>	543,066	463,683	452,322	496,478	598,425	510,096
---	---------	---------	---------	---------	---------	---------

**Tabla 11: Evolución Consumo Cuchillas**  
Elaboración Propia

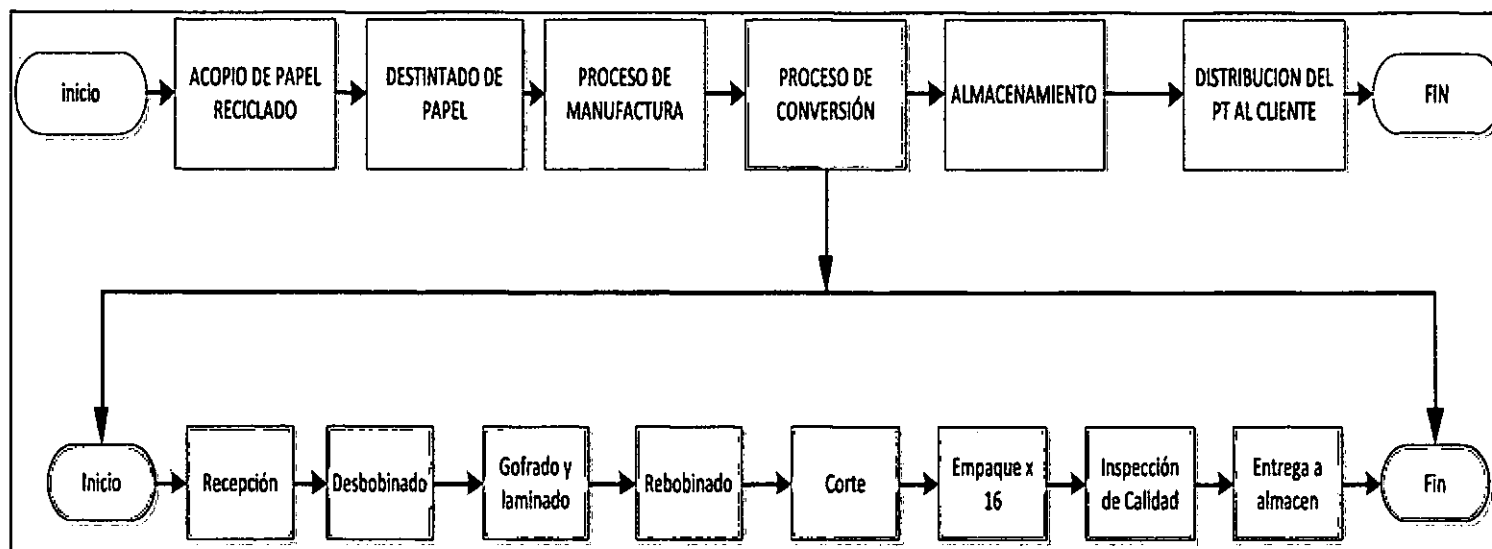
### 3.1.1. Estatuto del proyecto

**Tabla 12: Estatuto del proyecto**  
Elaboración propia

<b>Nombre del Proyecto:</b>	Reducción del consumo de cuchillas de un proceso de corte de papel
<b>Fecha de Revisión:</b>	05-01-13
<b>Aprobado por el Patrocinador:</b>	Erick Ylave
<b>Caso del Negocio:</b>	<b>Identificación del Problema</b>
<p>El problema ocurre en la sección de corte de la línea convertidora de papel desde Julio 2012. El defecto crítico es la variabilidad del consumo de cuchillas para corte de papel, la oportunidad de mejora dentro del proceso es mantener una constante de consumo de las cuchillas.</p> <p>El rendimiento actual de cuchillas es en promedio 500,000 cortes/cuchilla, lo cual está por debajo del rendimiento obtenido en otras unidades de negocio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actualmente el consumo de cuchillas presenta una frecuencia de cambio de 17.5 cuchillas semanales equivalente a 500 000 cortes por cuchillas.</li> <li>• La actual herramienta de registro de datos no garantiza un buen control, por lo que se hace difícil el resumen de la información.</li> <li>• No se ha definido el valor óptimo de las variables de proceso para controlar el consumo de cuchillas.</li> <li>• No existe una rutina de verificación de parámetros de máquina.</li> <li>• En la actualidad no se hace uso de los procedimientos corporativos para la identificación y uso de cuchillas.</li> <li>• Al tener cuchillas desgastadas obtenemos un producto de mala calidad que se ve reflejado en rollo mal cortado, baja firmeza del rollo, tuco maltratado</li> </ul>

<b>Objetivo o Meta:</b>		<b>Alcance del Proyecto:</b>
Incrementar un rendimiento de 500 000 cortes por cuchilla.		El proyecto abarca desde el ingreso de la bobina a la sección corte hasta la aprobación de calidad durante el proceso de conversión.
<b>Beneficios esperados:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Disminución de costos: Ahorro en el consumo de cuchillas \$ 150,000</li> <li>Mejora del flujo de proceso: Ahorro en horas-hombre para el mantenimiento del equipo y cambio de cuchillas.</li> <li>Aumento de la productividad, al disminuir tiempo por maquina parada.</li> </ul>		
<b>Equipo de Trabajo</b>		
<b>Función en el Proyecto</b>	<b>Nombre</b>	<b>Puesto en la Organización</b>
Gerente del Proyecto	Edwin Reynafarge	Gerente de Planta
Tutor	Jesús Delgado	Gerente de Procesos
Líderes del proyecto	María Fernández	Supervisor de Control de Calidad
	Javier Rojas	Supervisor de Procesos
Miembros del Grupo	Juan Aguilar	Jefe de Mantenimiento
	José Minaya	Jefe de Procesos
	Rafael Tawa	Jefe de Línea
<b>Recursos</b>		
<b>Recursos Humanos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mano de obra de inspectores de control de calidad, supervisor de mantenimiento y supervisor de procesos.</li> </ul> <b>Ensayos por terceros</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis de cuchillas.</li> </ul>		

<b>Plan del Proyecto</b>		
<b>Etapas DMAIC</b>	<b>Fecha de inicio</b>	<b>Fecha Programado Fin</b>
<b>Definir</b>	<b>03-02-13</b>	<b>27-02-13</b>
<b>Medir</b>	<b>28-02-13</b>	<b>07-04-13</b>
<b>Analizar</b>	<b>07-04-13</b>	<b>30-04-13</b>
<b>Mejorar</b>	<b>30-04-13</b>	<b>25-05-13</b>
<b>Controlar</b>	<b>25-05-13</b>	<b>19-06-13</b>



**Figura 42: Mapa de proceso de la fabricación de papel tissue**  
Elaboración propia

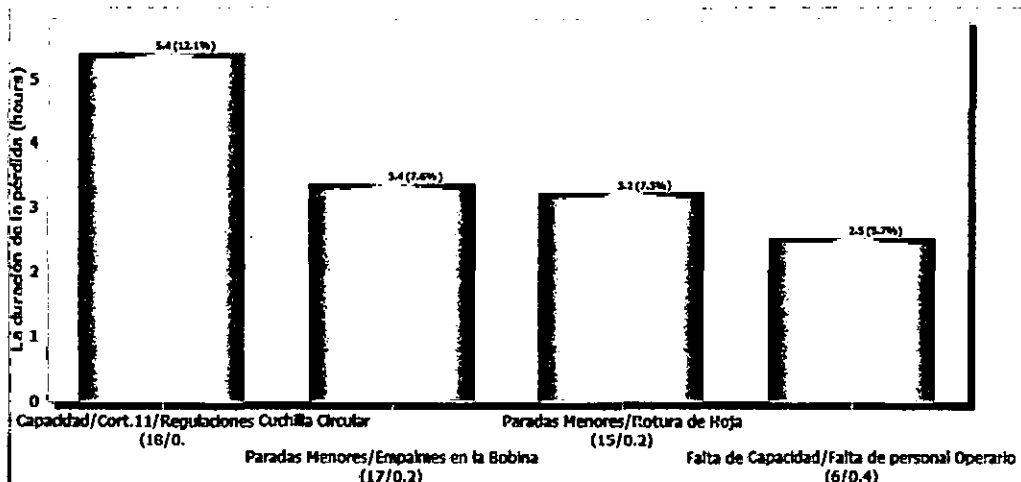
### 3.1.2. Voz del Negocio

Para determinar los CTQ's se toma como base los siguientes puntos:

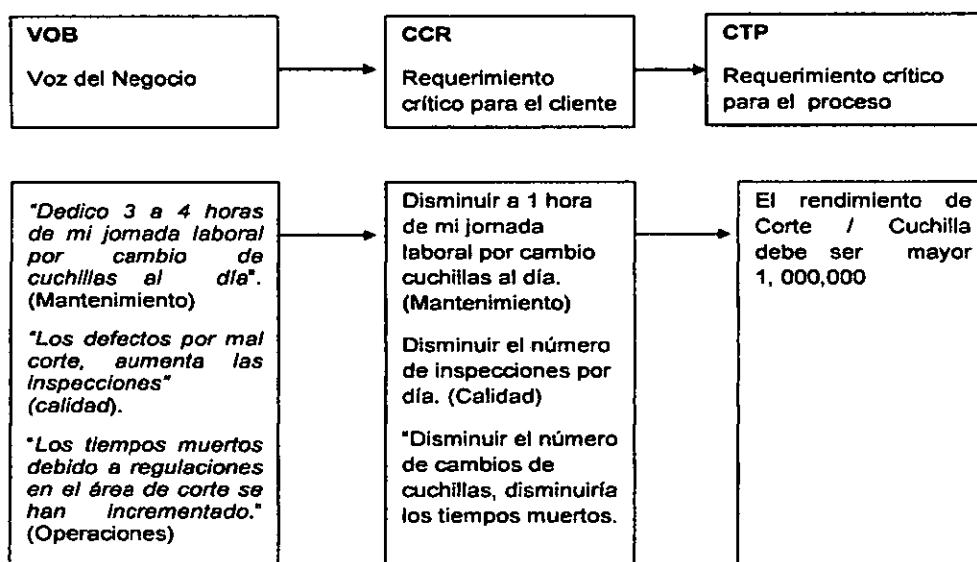
- El departamento de calidad dedica excesivo tiempo en inspecciones de rollos mal cortados.
- El área de mantenimiento dedica mucho tiempo durante su jornada laboral para el cambio de cuchillas a comparación de otras plantas.
- En los últimos meses el inventario y la solicitud de pedido de cuchillas se ha incrementado.
- En los últimos meses los tiempos muertos por maquina parada (no planificadas) se han incrementado por regulación y cambio de cuchillas.
- El benchmarking de la compañía para cortadoras del mismo tipo muestra un indicador de 100 000 cortes / cuchilla

Como se observa en la figura 43, de las 17 horas perdidas semanalmente por máquina parada, 5.4 horas son debido a regulaciones en la cortadora en el proceso de corte.

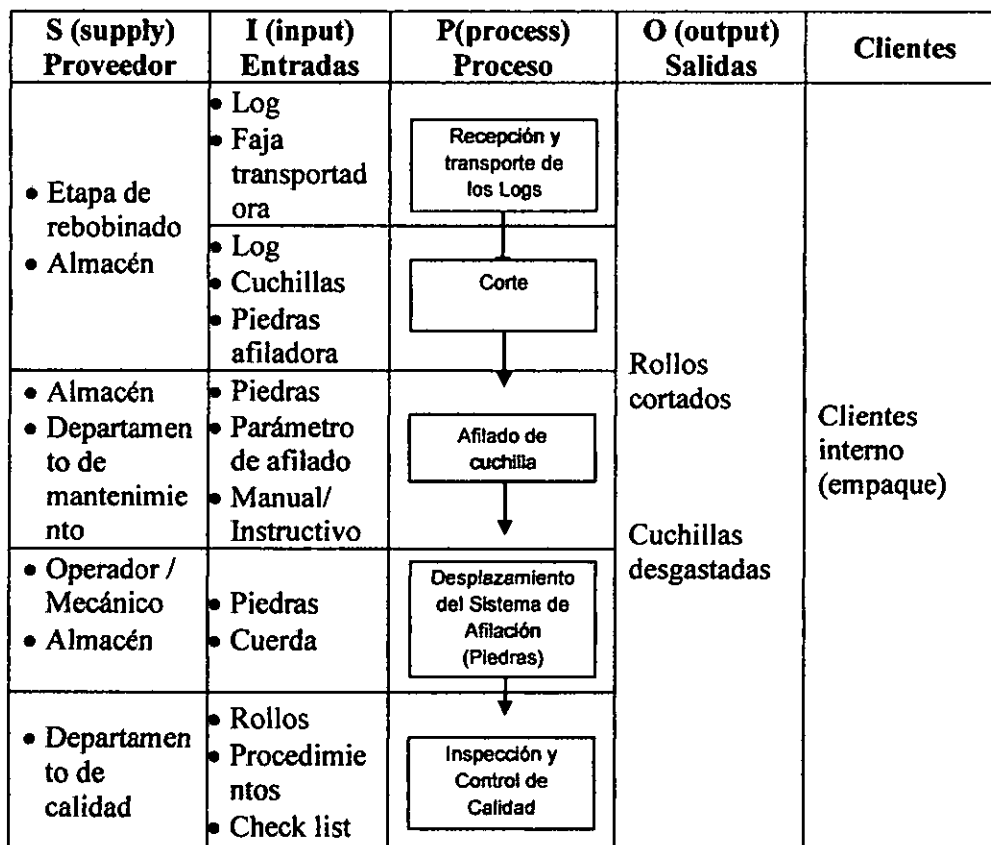
De acuerdo al diagrama de Pareto presentado, se tiene que el principal motivo de pérdidas (# de acontecimientos/ promedio por acontecimiento – horas) son las **regulaciones de cuchilla circular** (rendimiento de la cuchilla).



**Figura 43: Diagrama de Pareto de motivos de pérdidas de línea de Conversión**  
Base de Datos de la empresa.



**Figura 44: VOB Voz del Negocio del proceso de corte.**  
Elaboración propia



**Figura 45: Diagrama SIPOC del proceso de corte**



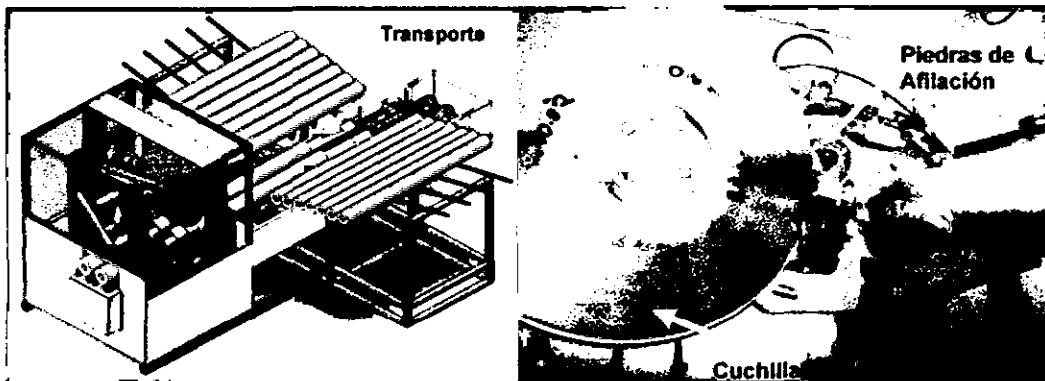


Figura 46: Cortadora de LOGs

Tabla 13 : Plan detallado DMAIC

NOMBRE DE TAREA	oct-12				nov-12				dic-12				ene-13				feb-13				mar-13			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>DEFINIR</b>																								
Definir el problema																								
Definir el equipo de trabajo																								
Realizar el estatuto del proyecto																								
Definir VOC																								
Definir SIPOC																								
<b>MEDIR</b>																								
Descripción del proceso en bloque																								
Determinación de los costos de baja calidad, objetivo de reducción, ahorro estimado.																								
Recolección de datos																								
Determinación del % de Error, cp																								
Determinación del Nivel Sigma																								
<b>ANALIZAR Y MEJORAR</b>																								
Determinación de las causas raíces																								
Generación de alternativas de mejora y evaluación de alternativas																								
Implementación de mejoras																								
Desarrollar y ejecutar plan de implementación																								
Determinación del % de error, Cp, mejorado y nuevo nivel sigma																								
<b>CONTROL</b>																								
Desarrollo del plan de proyecto																								
Transferencia del proyecto al dueño del proceso																								

La etapa Definir se desarrolla la descripción del proyecto, así también se identifican los requisitos del proyecto, las etapas del proceso donde se desarrolla el proyecto describiendo sus características como los recursos de entrada, los recursos que genera el proceso, los proveedores, los clientes internos.

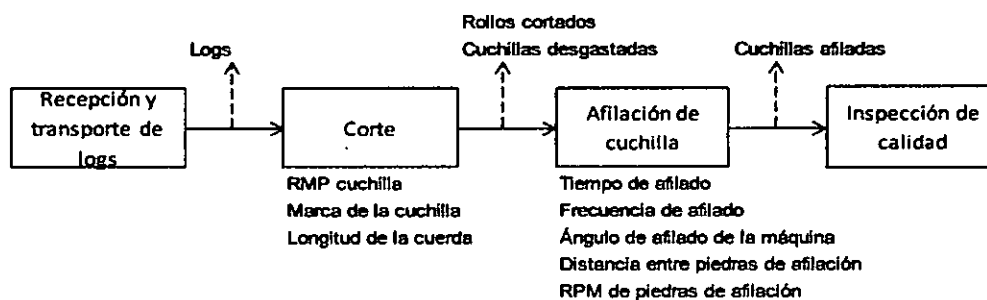
### 3.2. Metodología DMAIC: MEDICIÓN

La etapa Medir se enfoca en determinar y medir las variables críticas de entradas (X's) y salida (Y's), mediante las herramientas de mejora, como el diagrama de flujo de procesos y capacidad de proceso.

En esta etapa definiremos las variables de entrada del proceso KPIV y las variables de salida KPOV, los costos de calidad y ahorro estimado, así como el nivel sigma y la capacidad del proceso.

#### 3.2.1. Descripción del proceso bloques y variables KPOV, KPIV.

El proceso de interés es el proceso de corte, el cual inicia con la recepción de la bobina (cilindros de papel). Estos cilindros son cortados por una cuchilla rotatoria, al garantizar un correcto montaje de cuchilla, se incrementa el rendimiento de la cuchilla. Si las piedras afiladoras son posicionadas de manera incorrecta o la cuchilla ha perdido filo, es frecuente observar rollos mal cortados.



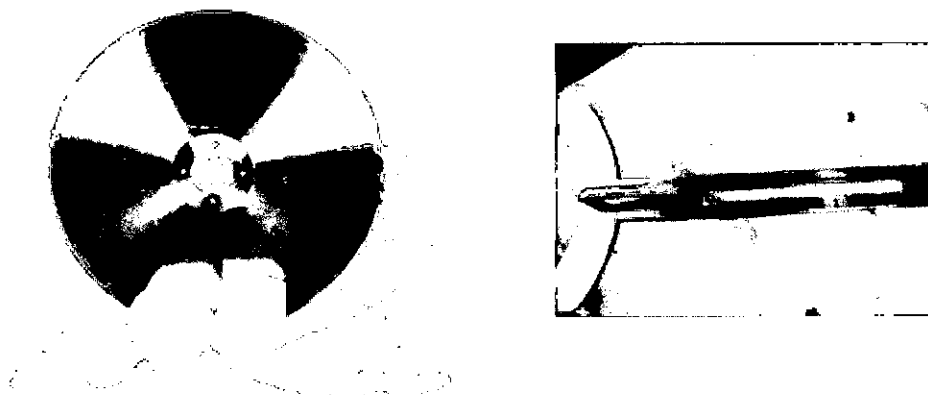
**Figura 47: Descripción por bloques del proceso.**  
Elaboración propia.

#### Variable principal de salida Y:

##### 1. Cantidad de cortes / cuchilla

Esta variable dependiente está compuesta por un ratio que tiene en el numerador a la cantidad de cortes que da la cuchilla hasta antes de ser cambiada y en el denominador a la cuchilla.

La cuchilla Chromalit circulares acero D2 inician con un diámetro de 610 mm y son retiradas de la máquina cuando llegan a un diámetro de 510 mm o por causas especiales (deformación, rotura, sobrecalentamiento). Esto quiere decir que por cada 100 mm de cuchilla consumidos deberíamos haber cortado 1,000,000 de rollos.



**Figura 48: Cuchilla de corte y herramienta de medición.**

Para medir el diámetro de las cuchillas usamos reglas calibradas, que van midiendo el desgaste hasta que la cuchilla llega al diámetro de 510 mm y tiene que ser cambiada.

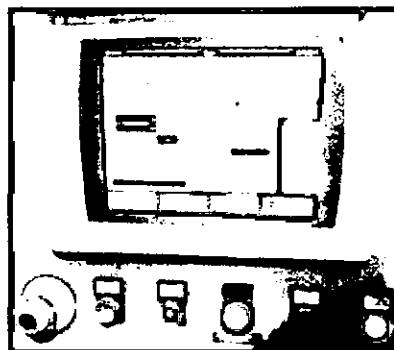
**Variables principales de entrada:**

Las cuales han sido elegidas por benchmarking con las principales fábricas de Latinoamérica de un total de 35 variables, debido a su criticidad y posibilidad de control.

**Tabla 14: Variables principales de entrada**

Ítem	Variable	Forma de Medición	Unidades
1	Tiempo de afilado	PLC Máquina	Segundos
2	Frecuencia de afilado	PLC Máquina	Cortes
3	Velocidad Angular de la cuchilla	PLC Máquina	RPM
4	Longitud de la cuerda	Disposición Máquina	mm
7	Mecánico (Ejecutor cambio cuchilla)	Registro	-
9	Marca de la cuchilla (Proveedor)	Registro	-

Las tres primeras variables (tiempo de afilado, frecuencia, velocidad cuchilla), han sido validadas mediante la visita del proveedor PCMC (Italia), lo que incluyó la revisión general del sistema, asimismo del software de comunicación con el PLC.



**Figura 49: Software de comunicación a la máquina.**

Para la medición de la cuerda, nos apoyamos en las marcas de referencias que vienen en las piedras de afilación con se muestra en la figura.



**Figura 50: Piedras de afilación**

### 3.2.2. Evaluación Gage R&R

Se realizó la evaluación con 5 cuchillas de diferente diámetro, las cuales fueron medidas 2 veces por los 3 operadores de la máquina.

**Tabla 15: Evaluación Gage R&R**

Diámetro	Operador	Corrida	Valor	Diámetro	Operador	Corrida	Valor
Dia1	Ope1	Med1	580	Dia3	Ope2	Med2	550.5
Dia1	Ope1	Med2	580	Dia4	Ope2	Med1	520.5
Dia2	Ope1	Med1	600	Dia4	Ope2	Med2	520.5

Dia2	Ope1	Med2	600	Dia5	Ope2	Med1	605
Dia3	Ope1	Med1	550	Dia5	Ope2	Med2	605
Dia3	Ope1	Med2	550.5	Dia1	Ope3	Med1	580.5
Dia4	Ope1	Med1	520	Dia1	Ope3	Med2	580
Dia4	Ope1	Med2	520.5	Dia2	Ope3	Med1	600
Dia5	Ope1	Med1	605	Dia2	Ope3	Med2	600
Dia5	Ope1	Med2	605	Dia3	Ope3	Med1	550.5
Dia1	Ope2	Med1	580	Dia3	Ope3	Med2	550
Dia1	Ope2	Med2	580	Dia4	Ope3	Med1	520
Dia2	Ope2	Med1	600	Dia4	Ope3	Med2	520.5
Dia2	Ope2	Med2	600	Dia5	Ope3	Med1	605
Dia3	Ope2	Med1	550	Dia5	Ope3	Med2	605

#### Estudio R&R del sistema de medición - Método XBarra/R

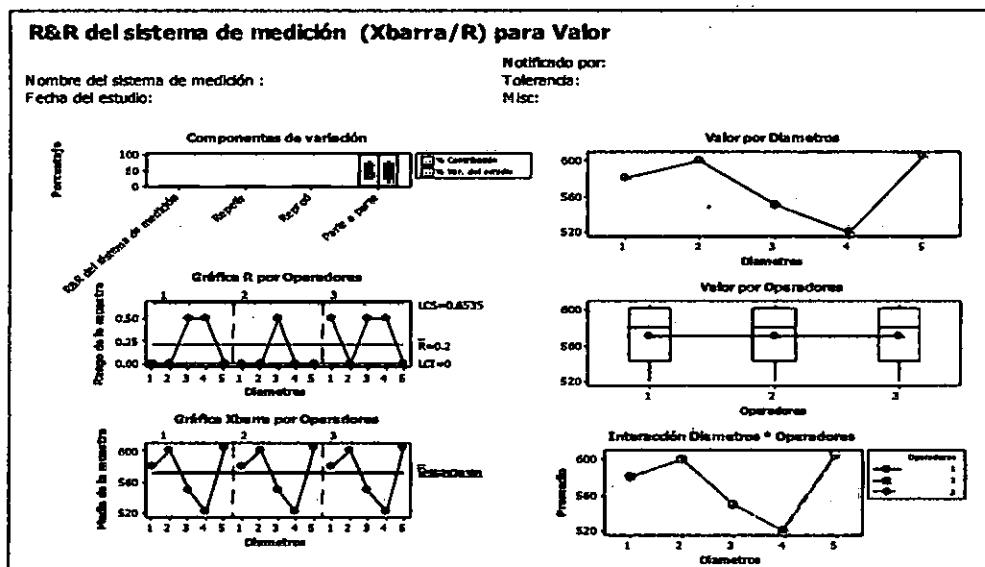
Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
R&R del sistema de medición total	0.03	0.00
Repetibilidad	0.03	0.00
Reproducibilidad	0.00	0.00
Parte a parte	1165.52	100.00
Variación total	1165.56	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. del estudio (5.15 * DE)
R&R del sistema de medición total	0.1739	0.896
Repetibilidad	0.1739	0.896
Reproducibilidad	0.0000	0.000
Parte a parte	34.1398	175.820
Variación total	34.1402	175.822

Fuente	%Var. del estudio (%VE)
R&R del sistema de medición total	0.51
Repetibilidad	0.51
Reproducibilidad	0.00
Parte a parte	100.00
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 276

**Figura 51: Resultados Gage R&R**



**Figura 52: Resultados de R&R**

Como se observa en los resultados el % de contribución es menor del 10%, muy cercano a 0, por lo cual es sistema de medición queda validado.

### 3.2.3. Determinación de los costos de baja calidad, objetivo de reducción, ahorro estimado

El objetivo es incrementar el rendimiento de las cuchillas a 1,200,000 cortes por cuchilla. El ahorro estimado anual por incrementar el tiempo de vida de las cuchillas (cortes/cuchilla) está entre \$150,000 y 168,000 aproximadamente. Además, existe un costo de calidad por rollos mal cortado, el cual no ha sido calculado por no formar parte del alcance de este trabajo.

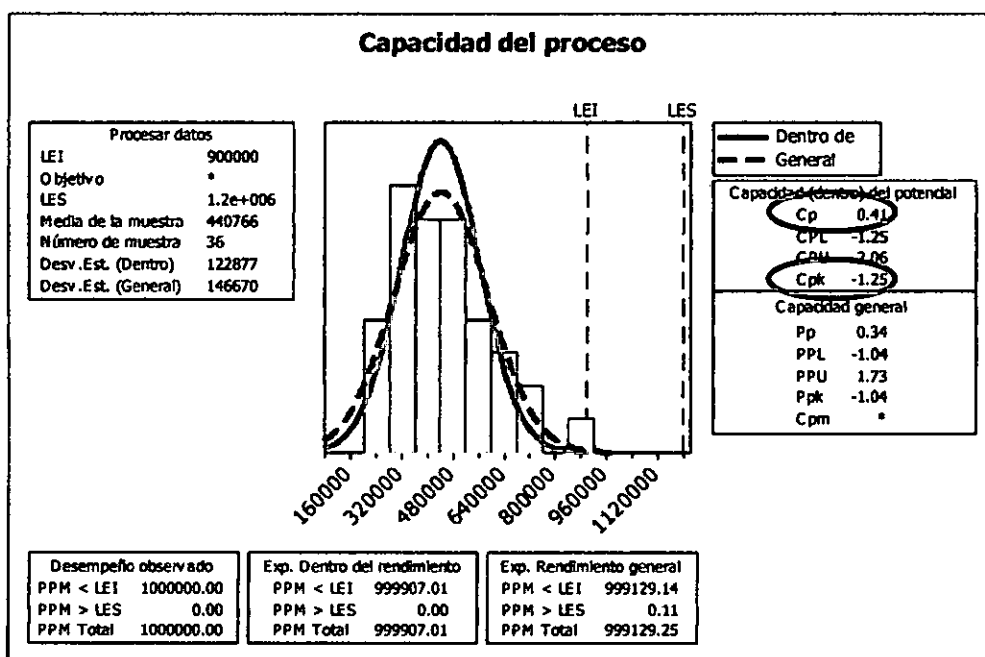
**Tabla 16: Cálculo de ahorro estimado**

Número de Logs/día(24hrs)		40,000 logs
Rollos día promedio		1,120,000 rollos
Rollos al Mes (26 días)		29,120,000 rollos
Precio Cuchilla \$		\$ 350
Proceso	Cortes/ Cuchilla	# Cuchillas

Actual	439,495	66
Mejora estimada	1,000,000	29
Ahorro en cuchillas		35
Ahorro estimado mensual \$:		2,250
Ahorro estimado anual \$:		147,000

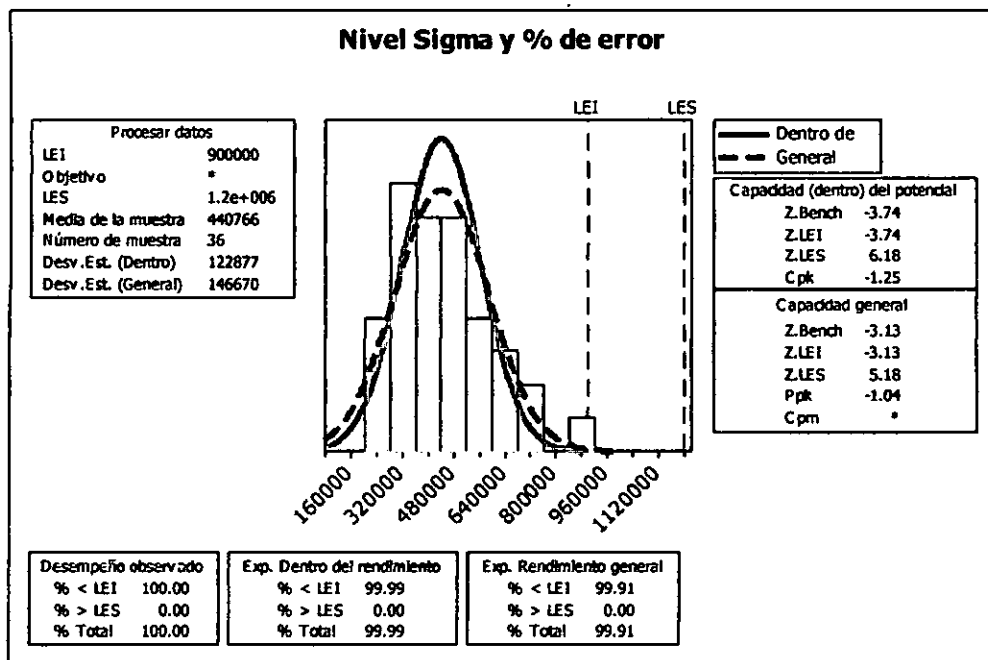
### 3.2.4. Determinación de la capacidad del proceso

Se tomaron como base 40 cuchillas pertenecientes al periodo Julio – Noviembre 2012, fueron eliminadas 4 cuchillas por causas asignables (falta de registro, no existe trazabilidad de la marca de cuchilla, error del sistema). Los datos se presentan en el Anexo1.



**Figura 53: Capacidad de Proceso antes de la mejora**  
Elaboración propia

### 3.2.5. Determinación del nivel sigma actual y porcentaje de error



**Figura 54: Nivel Six Sigma y % de error antes de la mejora**  
Elaboración propia

El Nivel Six Sigma del proceso es  $\rightarrow Z = -3.13 + 1.5 = -1.63$



### 3.2.6. Diagrama de Causa efecto

Luego de establecer el estado actual del proceso, se desarrolló junto al equipo de trabajo el diagrama causa efecto, como se muestra en la figura 55, donde se estableció el punto de partida de las posibles causas del problema, evidenciando que las categorías Persona y Método encierran la mayor cantidad de causas, que más adelante investigaremos más a fondo.

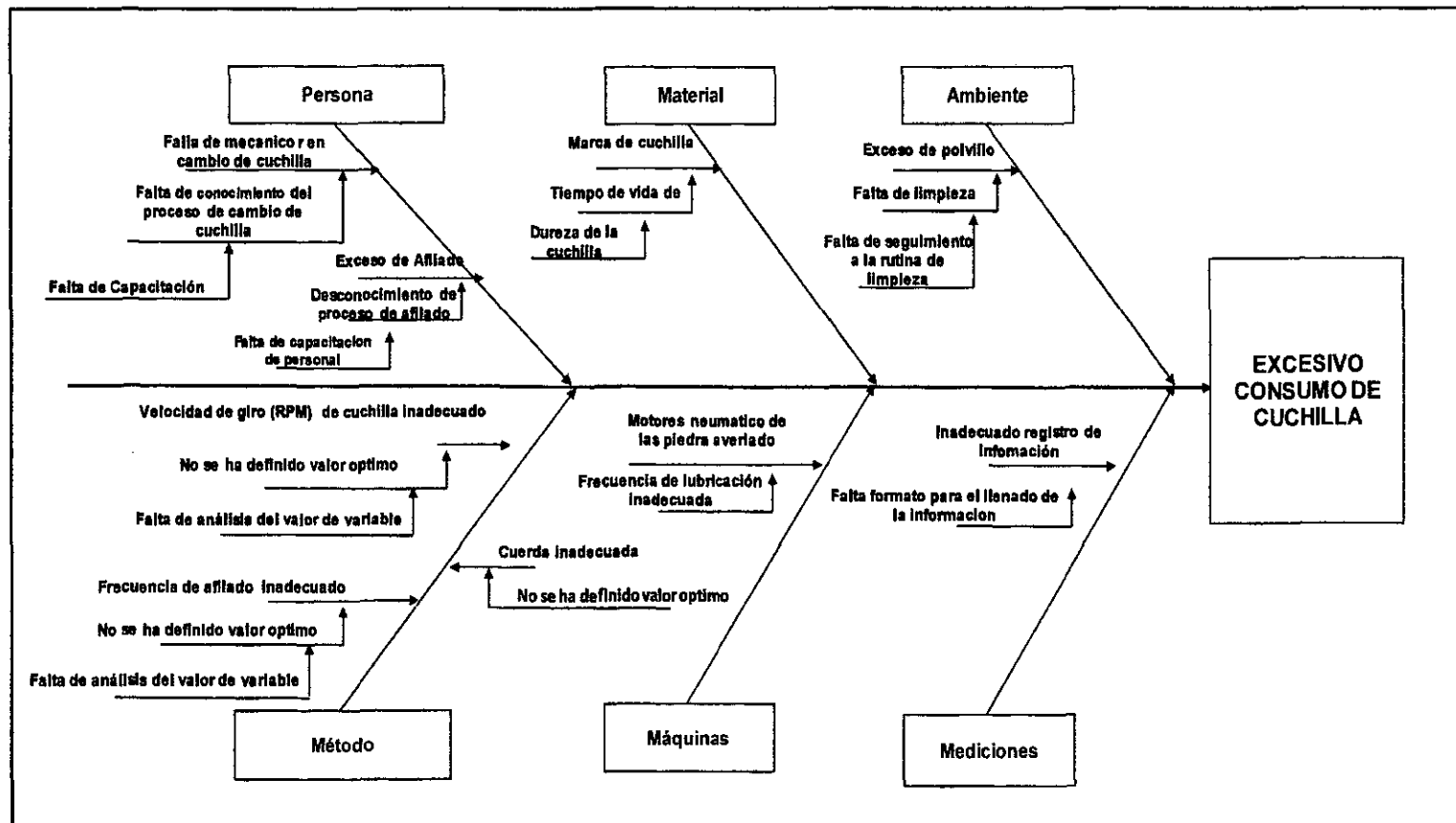


Figura 55: Diagrama causa efecto sobre el exceso de consumo de cuchillas  
Elaboración propia

### 3.2.7. Elaboración de Matriz FMEA o AMEF

N	Proceso/ Funcion (Etapa)	Potencial Modo de Falla (Defectos del proceso) (Y's)	Efectos potencial de fallas (Y's)	S E V	SEV Total	Causa potencial de falla (X's)	O C C	Actual control del proceso	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Persona responsable & Fecha de culminación
1	Incrementar el rendimiento de las cuchillas (cortes/cuchilla)	Cambio recurrente de cuchillas	Rollo mal cortado	8	8	Falta de filo de cuchillas ( tiempo de afilado)	7	Inspección visual	6	336	-Seguimiento diario a un grafico automático generado por los registro de operación	J. Rojas Nov
2						Cuchillas desniveladas	8	Inspección visual por operario	7	336	- Capacitación al personal de maestranza en nuevo procedimiento de identificación de cuchillas.	J. Aguilar Feb.-13
3			Perdida de tiempo por cambio cuchillas	6		Falta de procedimiento (no estandarizado)	10	No hay	10	600	Colocar practicas Operativas de las Cortadoras en la presentación.(PO impleza y Regulación) Cambio de cuchilla según Best Practice (documento corporativo)	J. Rojas Feb-13
4			Retraso en las operaciones siguientes	5		Falla del operador	5	Supervisión	5	125	Capacitación para cambio de cuchillas	J. Aguilar Feb.-13

N	Proceso/ Funcion (Etapa)	Potencial Modo de Falla (Defectos del proceso) (Y's)	Efectos potencial de fallas (Y's)	S E V	SEV Total	Causa potencial de falla (X's)	O C C	Actual control del proceso	D E T	R P N	Acciones recomendadas	Persona responsable & Fecha de culminación
5	Incrementar el rendimiento de las cuchillas (cortes/cuchilla)	Exceso de afilado de cuchillas	Consumo de piedra de afilado	7	7	Frecuencia de afilado	8	No definido	10	420	Generación de una aplicación en entorno Microsoft Office Excel en la cual se registrará los datos requeridos para el control del consumo de cuchillas	J. Rojas Feb-13
6			Disminución del tiempo de vida de la cuchilla	5		Motores neumaticos que accionan las piedras averiados originan mala calidad de corte por carencia fuerza de piedras.	2	Mediciones esporádicas (no procedimentado)	10	100	Evaluación de Velocidad Tangencial (40 m/s)	Terceros
7		Desperdicio de cuchillas	Gasto o consumo por tipo de cuchillas	7	7	Mayor desgaste según marca de cuchilla	8	Inspección	4	224	Evaluar la difetencia de rendimiento respecto al proveedor (Proveedores IKS Alemania y Microblade) Realizar la evaluación comparativa de Proveedores IKS Alemania y Microblade.	J. Rojas Ene-13
8						RPM de la cuchilla	8	No definido	10	420	Documentar niveles máximo y mínimo de RPM de acuerdo al manual del equipo y entrenar el personal	J. Aguilar Marz-13

Tabla 17: Matriz FMEA del proceso

### 3.3. Metodología DMAIC: ANÁLISIS

#### 3.3.1. Determinación de las Causas Raíces

La etapa Análisis busca las causas raíces con herramientas cuantitativas, demostrando estadísticamente si los KPIV<sup>6</sup>, que se encontraron en la etapa anterior, influyen en la variable de salida “Y”. Las herramientas estadísticas que utilizamos fueron Regresión y DOE<sup>7</sup>.

En la etapa de medición según la evaluación del FMEA se detectaron 05 variables de entradas sospechosas que afectan a la variable de salida Y(Cortes/Cuchilla), las cuales se presentan en el siguiente cuadro:

**Tabla 18: Principales Variables de entrada**

Métrica	X or Y	Tipo de Dato (discreto o continuo)	Fuente de los Datos	Responsable
Cortes / Cuchilla	Y	continuo	Registro del área de corte	J.Rojas
Frecuencia de afilado	x	continuo	Registro del área de corte	Marrero
Tiempo de afilado	x	continuo	Registro del área de corte	Marrero
RPM de corte	x	continuo	Registro del área de corte	J.Rojas
Cuerda de cuchilla	x	continuo	Registro del área de corte	J.Rojas
Marca de cuchilla	x	Discreto	Registro del área de corte	J.Rojas

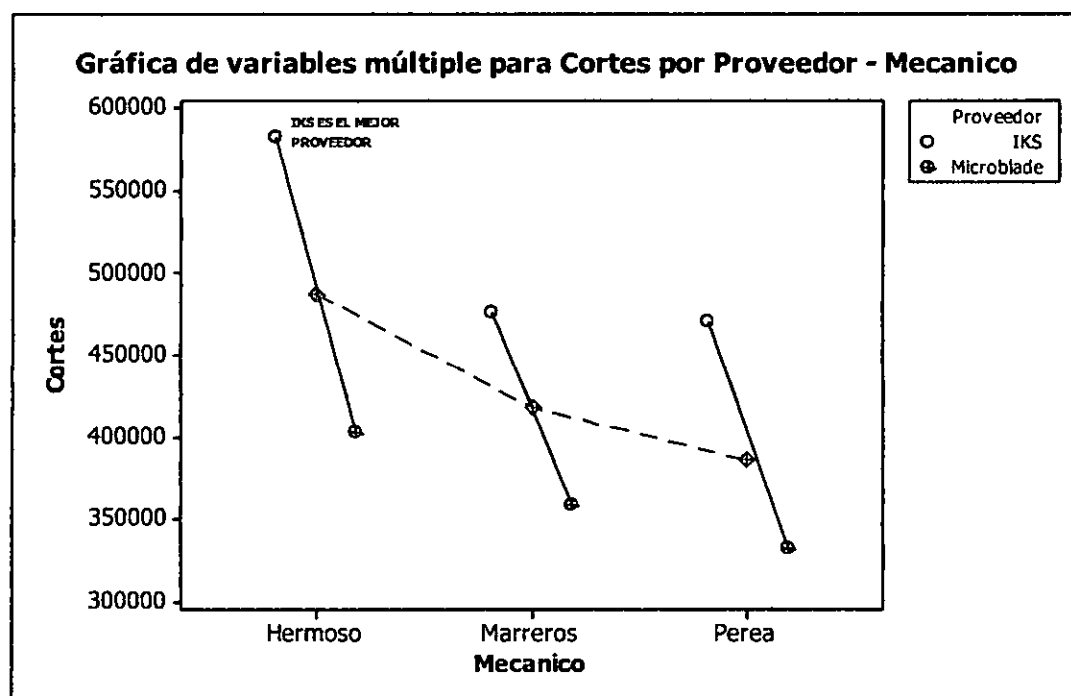
**Tabla 19: Pruebas de hipótesis de las variables principales**

Métrica	Hipótesis Nula Ho	Hipótesis alternativa H1
Frecuencia de afilado	Ho: La frecuencia de afilado NO es significativa	Ha: La frecuencia de afilado SI es significativa
Tiempo de afilado	Ho: El tiempo de afilado NO es significativo	Ha: El tiempo de afilado SI es significativo
RPM de corte	Ho: Las RPM de la cuchilla NO son significativas	Ha: Las RPM de la cuchilla SI son significativas
Cuerda de cuchilla	Ho: La longitud de cuerda NO es significativa	Ha: La longitud de cuerda SI es significativa
Marca de cuchilla	La marca de la cuchilla NO es significativa	Ha: La marca de la cuchilla SI es significativa

#### 3.3.2. Grafico Multi-vari para las variables mecánico y proveedor

<sup>6</sup> KPIV – Key Performance Input Variable

<sup>7</sup> DOE – Design Of Experiments



**Figura 56: Grafica de Multi-vari para proveedor y mecánico**  
Elaboración propia

### 3.3.3. Análisis de causa raíz Por Proveedor

**Tabla 20: Resultados Prueba T- dos muestras para Proveedor**

<b>Prueba T e IC de dos muestras: Cortes, Proveedor</b>				
T de dos muestras para Cortes				
		Estándar de la		
Proveedor	N	Media	Desv.Est.	Media
IKS	17	525093	148324	35974
Microblade	21	367708	103144	22508
Diferencia = $\mu$ (IKS) - $\mu$ (Microblade)				
Estimado de la diferencia: 157385				
IC de 95% para la diferencia: (74508, 240262)				
Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = 3.85				
Valor P = 0.000 GL = 36				
Ambos utilizan Desv.Est. agrupada = 125252.5063				

Por valor del  $P < 0.05$  se puede concluir que hay diferencia significativa entre proveedores de cuchillas y mediante la gráfica siguiente podemos ver el mejor proveedor de cuchillas.

### 3.3.4. Análisis de causa raíz Por Mecánico

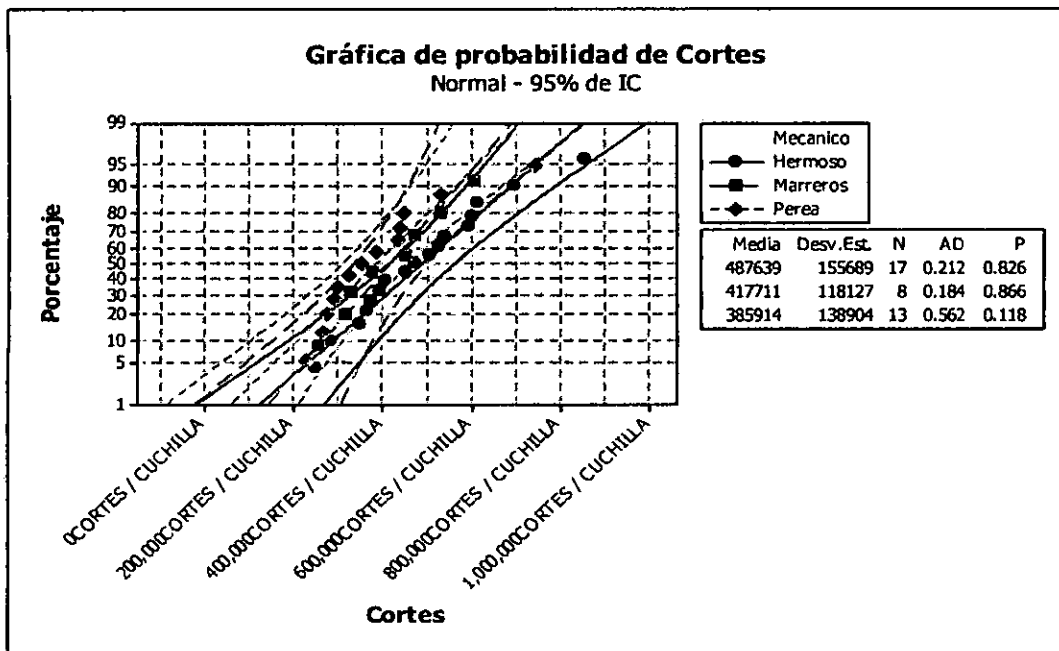
**Tabla 21: Resultados ANOVA-una dirección, para Mecánico**

ANOVA unidireccional: Cortes vs. Mecanico					
Fuente	GL	SC	CM	F	P
Mecanico	2	80449178024	40224589012	1.98	0.156
Error	35	7.17034E+11	20486676373		
Total	37	7.97483E+11			
S = 143132 R-cuad. = 10.09% R-cuad. (ajustado) = 4.95%					
ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada					
Nivel	N	Media	Desv.Est.	-----+-----+-----+-----+-----	
Hermoso	17	487639	155689	(-----+-----)	
Marreros	8	417711	118127	(-----+-----)	
Perea	13	385914	138904	(-----+-----)	
				-----+-----+-----+-----+-----	
				350000	420000 490000 560000
Desv.Est. agrupada = 143132					

Podemos ver en el cuadro ANOVA que el mecánico no es relevante sobre la variable de salida Y por ser el P valor > 0.05(0.156).

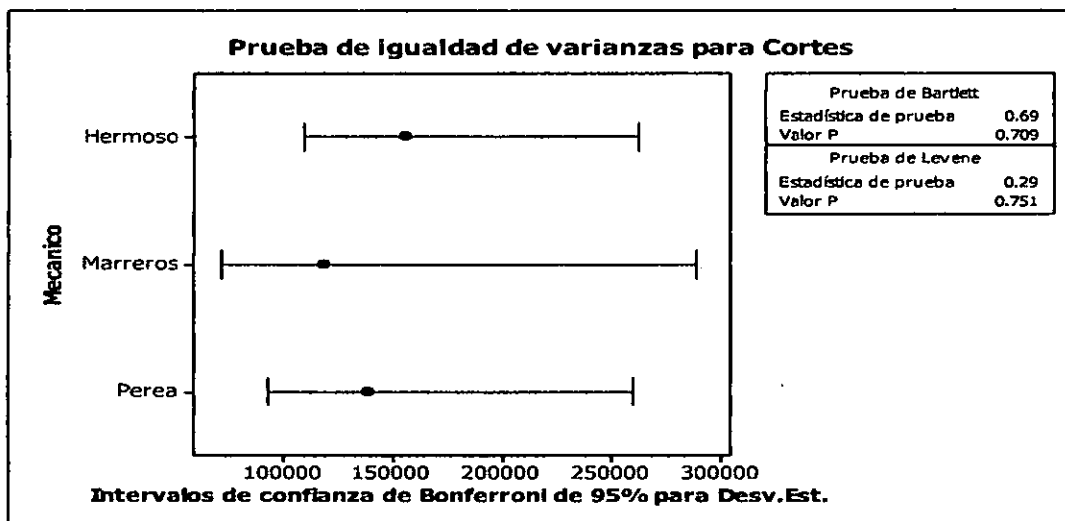
#### Supuestos del ANOVA-Mecánico

##### A) Normalidad



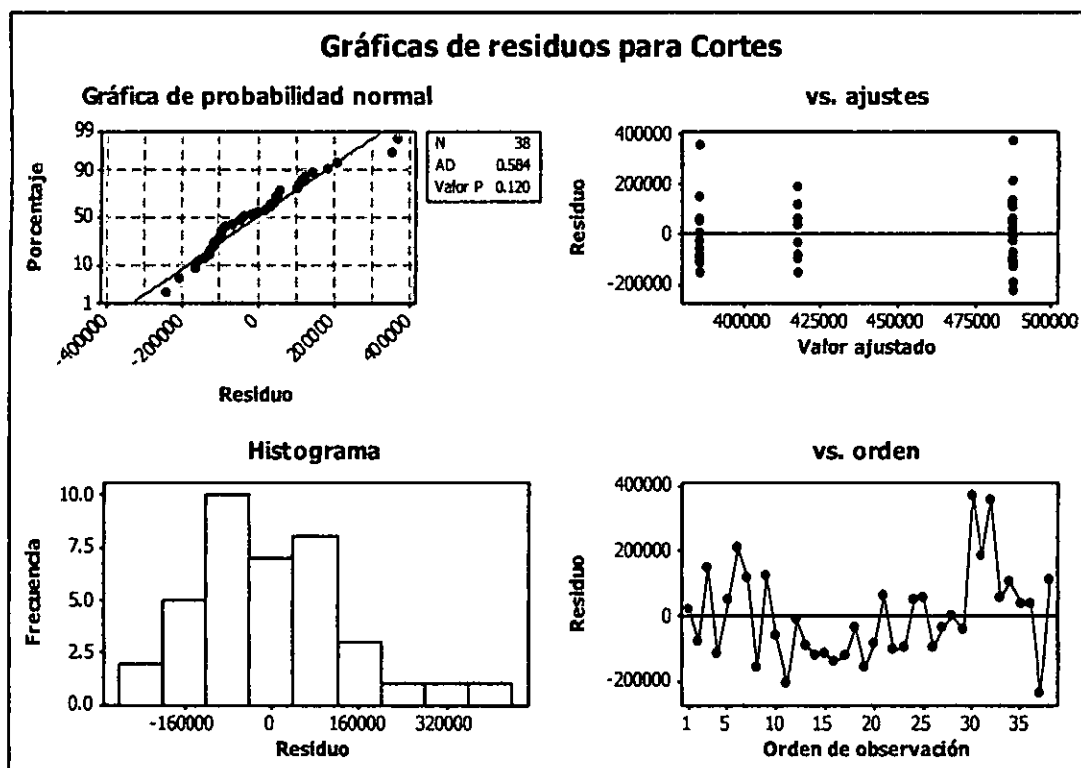
**Figura 57: Prueba de Normalidad para Mecánico**

**B) Homogeneidad de varianzas**



**Figura 58: Test de Bartlett para prueba de igualdad de varianzas**

### C) Residuales



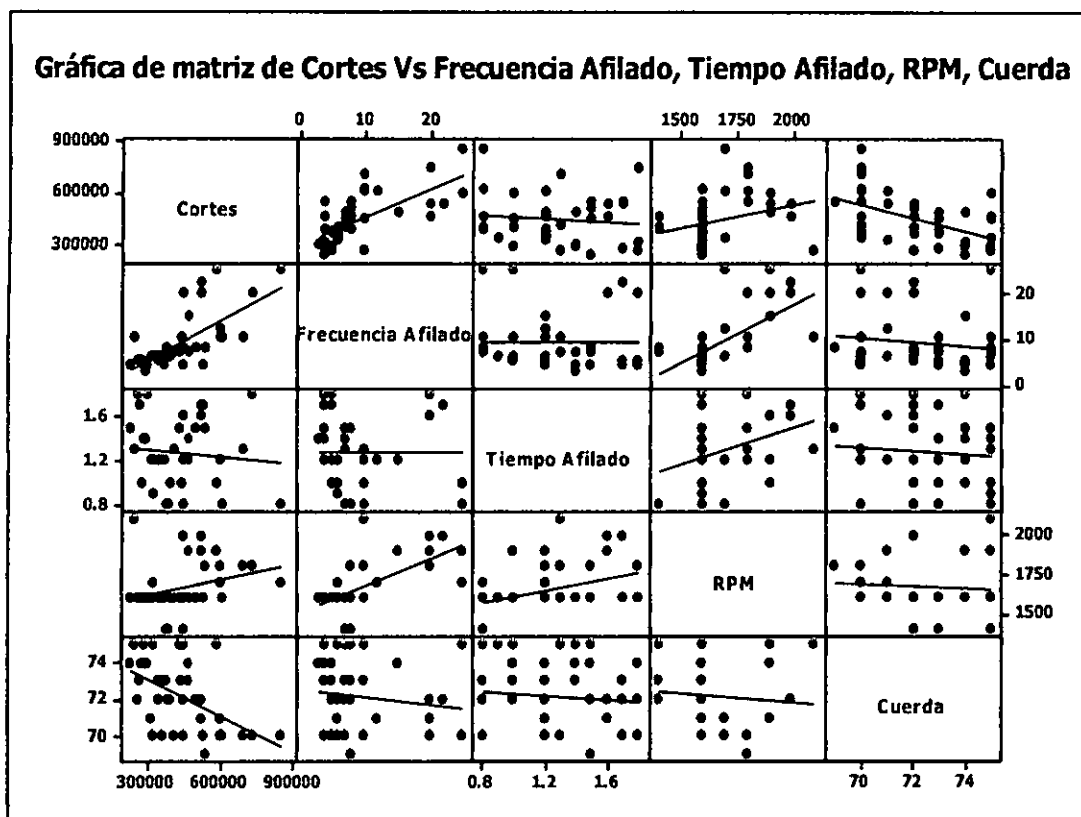
**Figura 59: Grafica de Residuales**

**3.3.5. Análisis de causa raíz (Correlación) para Longitud de cuerda, Frecuencia de Afilado, Tiempo de Afilado y RPM de Cuchilla.**

**Tabla 22: Correlaciones: Cortes, Fi\_Cortes, T\_Afilado, RPM, Cuerda**

Correlaciones: Cortes, Fi_Cortes, T_Afilado, RPM, Cuerda				
Cortes	Fi_Cortes	T_Afilado	RPM	
Fi_Cortes	0.692			
	0.000			
T_Afilado	-0.105	-0.005		
	0.530	0.977(Variable no Correlacionada-sin causalidad)		
RPM	0.304	0.654	0.357	
		0.064	0.000	0.028(Variable no Correlacionada-sin causalidad)
Cuerda	-0.523	-0.132	-0.092	-0.087
	0.001	0.429	0.583	0.605





**Figura 60: Gráfica matriz**

Según la gráfica de matriz se puede observar que entre la frecuencia de Afilado y los cortes de cuchilla existe una correlación positiva lo cual indica una causalidad ya que hay relación directa, respecto a la variable tiempo de afilado y RPM o velocidad de corte de cuchilla vs cortes de cuchilla podemos ver que no existe correlación alguna para la variable Tiempo de afilado por tal razón no se consideró como variable significativa, respecto al RPM se consideró como Significativa la correlación ya que el p valor es 0.064 muy cercano al límite 0.05 y por último la relación entre la longitud de cuerda vs los Cortes con cuchilla, se puede observar en el grafico que si existe una correlación negativa entre ellos y esto hace que la variable sea significativa y considerada como causa raíz.

### **3.3.6. Análisis de causa raíz (Regresión) para Longitud de cuerda, Frecuencia de Afilado, Tiempo de Afilado y RPM de Cuchilla**

**Tabla 23: Regresión Longitud de cuerda, Frecuencia de Afilado, Tiempo de Afilado y RPM de Cuchilla**

La ecuación de regresión es				
Cortes = 3159844 + 18403 Fi_Cortes - 30516 T_Afilado - 201 RPM - 34845 Cuerda				
o Predictor	Coef	SE Coef	T	P
o Constante	3159844	564389	5.60	0.000
o Fi_Cortes	18403	3141	5.86	0.000
o T_Afilado	-30516	51439	-0.59	0.557
o RPM	-201.3	128.6	-1.57	0.127
o Cuerda	-34845	7432	-4.69	0.000
S = 83624.8 R-cuad. = 71.1% R-cuad.(ajustado) = 67.6%				

Variable No Significativa

Según el cuadro superior podemos ver que el tiempo de Afilado de Cuchilla no es relevante en la variable de salida(Cortes/Cuchilla) por ser el P-value > 0.05.

Según el estudio las causas raíces confirmadas son la longitud de cuerda, RPM, frecuencia de Afilado y Marca de Cuchilla o proveedor.

### 3.4. Metodología DMAIC: MEJORAR

En esta etapa nos enfocamos a desarrollar un diseño de experimento considerando las 03 variables continuas críticas como Frecuencia de Afilado, RPM o Velocidad de cuchilla, la longitud de cuerda y la variable discreta marca de cuchilla.

### 3.4.1. Diseño Experimental DOE ( $2^K$ )

**Tabla 24: Factores y niveles de especificación: Diseño factorial  $2^K \gg 2^3$**

Factores	Niveles de especificación		
	Repeticiones	Minimo	Maximo
Frecuencia de Afilado	2	10	30
RPM	2	1500	2000
Longitud de Cuerda	2	70	75

**Tabla 25 : Diseño Factorial completo**

#### Diseño factorial completo

Factores: 3    Diseño de la base: 3, 8  
 Corridas: 16    Réplicas: 2  
 Bloques: 1    Puntos centrales (total): 0

Todos los términos están libres de estructuras alias.

#### Tabla de diseño (aleatorizada)

##### Corrida A B C

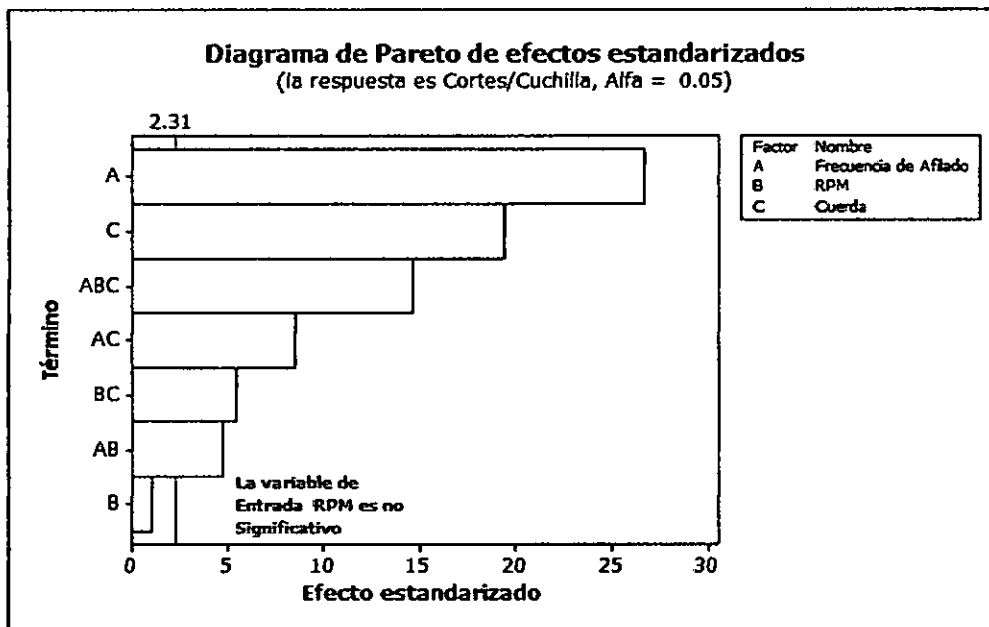
1 + - +  
 2 + + +  
 3 - + -  
 4 + - -  
 5 - - +  
 6 - - -  
 7 + + +  
 8 + + -  
 9 - + -  
 10 + - +  
 11 - - +  
 12 + + -  
 13 - - -  
 14 - + +  
 15 + - -  
 16 - + +

**Tabla 26: Datos del Diseño factorial**

OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Frecuencia de Afilado	RPM	Cuerda	Cortes/Cuchilla
6	1	1	1	30	1500	75	722000
16	2	1	1	30	2000	75	667000
11	3	1	1	10	2000	70	369000
10	4	1	1	30	1500	70	1004000
5	5	1	1	10	1500	75	242000
1	6	1	1	10	1500	70	740000
8	7	1	1	30	2000	75	679000
4	8	1	1	30	2000	70	1246000
3	9	1	1	10	2000	70	419000
14	10	1	1	30	1500	75	730000
13	11	1	1	10	1500	75	316000
12	12	1	1	30	2000	70	1284000
9	13	1	1	10	1500	70	807000
15	14	1	1	10	2000	75	540000
2	15	1	1	30	1500	70	1050000
7	16	1	1	10	2000	75	543000

**A. Análisis de los Factores**

Los resultados del análisis de los factores se muestran en la gráfica siguiente, detallando que la interacción entre los factor RPM no influye en la variable de salida cortes/Cuchilla, mientras que los factores independientemente frecuencia de Afilado, Longitud de cuerda y las interacciones ABC, AC, AB y BC si lo hacen.



**Figura 61: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados**

**Ajuste factorial: Cortes/Cuchilla vs. Frecuencia de Afilado, RPM, Cuerda**

Efectos y coeficientes estimados para Cortes/Cuchilla (unidades codificadas)

Término	Efecto	Coef	SE Coef	T	P
Constante		709875	7965	89.12	0.000
Frecuencia de Afilado	425750	212875	7965	26.73	0.000
RPM	17000	8500	7965	1.07	0.317(Variable NO significativa)
Cuerda	-310000	-155000	7965	-19.46	0.000
Frecuencia de Afilado*RPM	75500	37750	7965	4.74	0.001
Frecuencia de Afilado*Cuerda	-136500	-68250	7965	-8.57	0.000
RPM*Cuerda	87750	43875	7965	5.51	0.001
Frecuencia de Afilado*RPM*Cuerda	-233250	-116625	7965	-14.64	0.000

S = 31861.0    PRESS = 32484000000

R-cuad. = 99.45%    R-cuad.(pred.) = 97.78%    R-cuad.(ajustado) = 98.96%(El Modelo explica la variabilidad de la respuesta-los predictores explican el 98.86% de la variabilidad de la variable de salida= cortes/Cuchilla ) la variable rpm no se elimina del modelo por ser la interacción con esta muy significativa.

**Tabla 27: Ajuste factorial Cortes/Cuchilla vs. Frecuencia, RPM, Cuerda**

Fuente	F	P
Efectos principales	364.69	0.000
Frecuencia de Afilado	714.25	0.000
RPM	1.14	0.317
Cuerda	378.67	0.000
2-Interacciones de (No.) factores	42.07	0.000
Frecuencia de Afilado*RPM	22.46	0.001
Frecuencia de Afilado*Cuerda	73.42	0.000
RPM*Cuerda	30.34	0.001
3-Interacciones de (No.) factores	214.38	0.000
Frecuencia de Afilado*RPM*Cuerda	214.38	0.000
Error residual		
Error puro		
Total		
Coeficientes estimados para Cortes/Cuchilla utilizando datos en unidades no codificadas		
Término	Coef	
Constante	57546000	
Frecuencia de Afilado	-2174700	
RPM	-32414.5	
Cuerda	-783350	
Frecuencia de Afilado*RPM	1367.95	
Frecuencia de Afilado*Cuerda	29925.0	
RPM*Cuerda	443.400	

**Tabla 28: Coeficientes estimados para Cortes/cuchilla utilizando datos en unidades no codificadas**

## B. Validar el Modelo

En la gráfica siguiente se muestra a los residuos cumpliendo los requisitos necesarios para que el modelo sea válido.

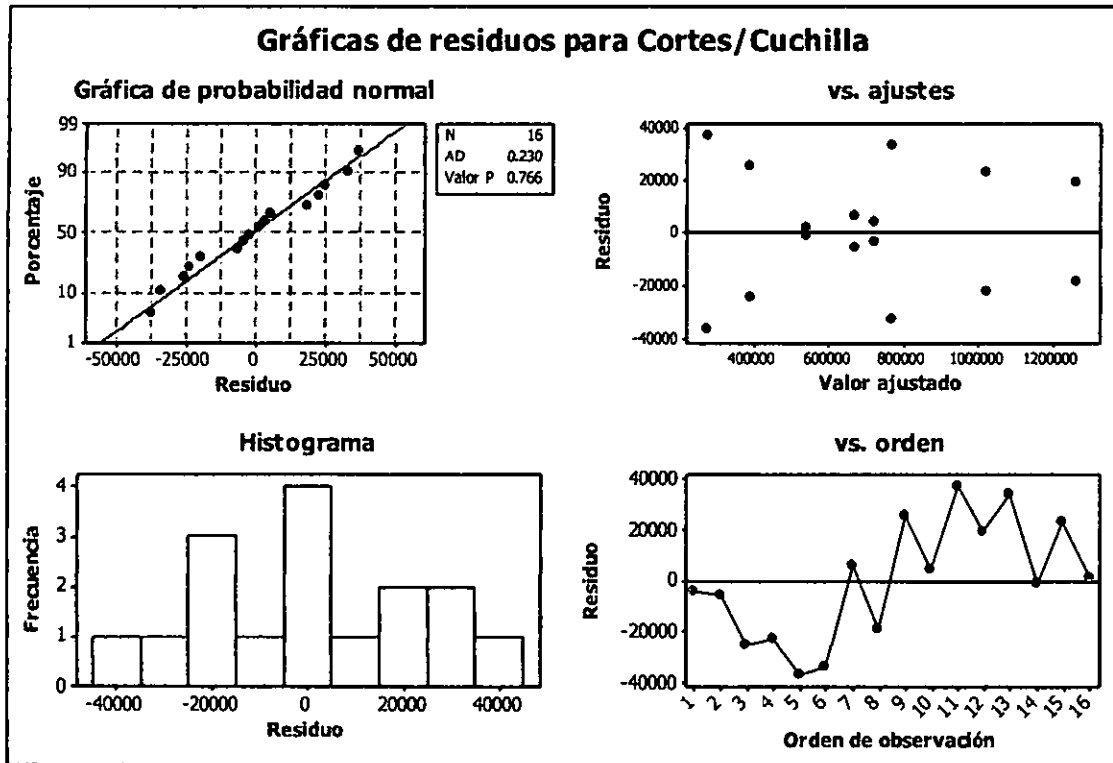


Figura 62: Gráfica de residuales 4 en 1

## C. Gráficas del Modelo

En el gráfico 24 podemos observar que a mayor Frecuencia de Afilado mayor Corte /Cuchilla, además a menor Longitud de Cuerda se obtiene mayor Rendimiento en los cortes /Cuchilla.

Los efectos tanto de la variable Frecuencia de afilado y Longitud de cuerda son significativas, mientras que la variable RPM el efecto no es relevante.

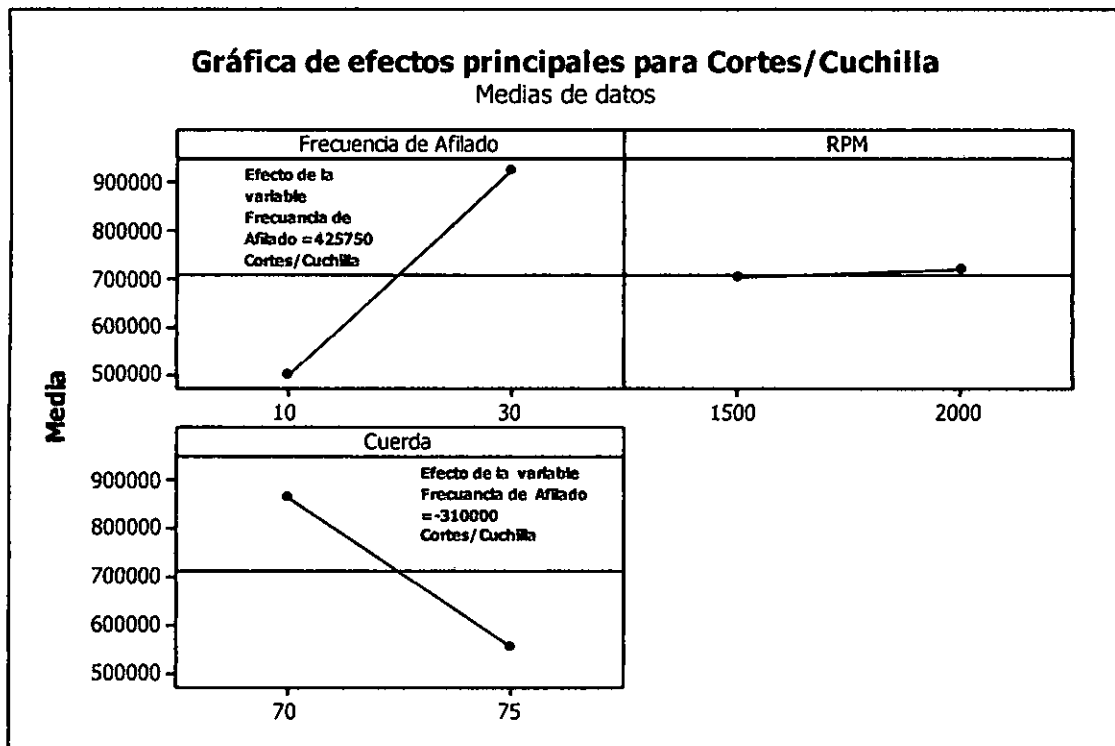


Figura 63: Efectos Principales para Cortes/Cuchilla

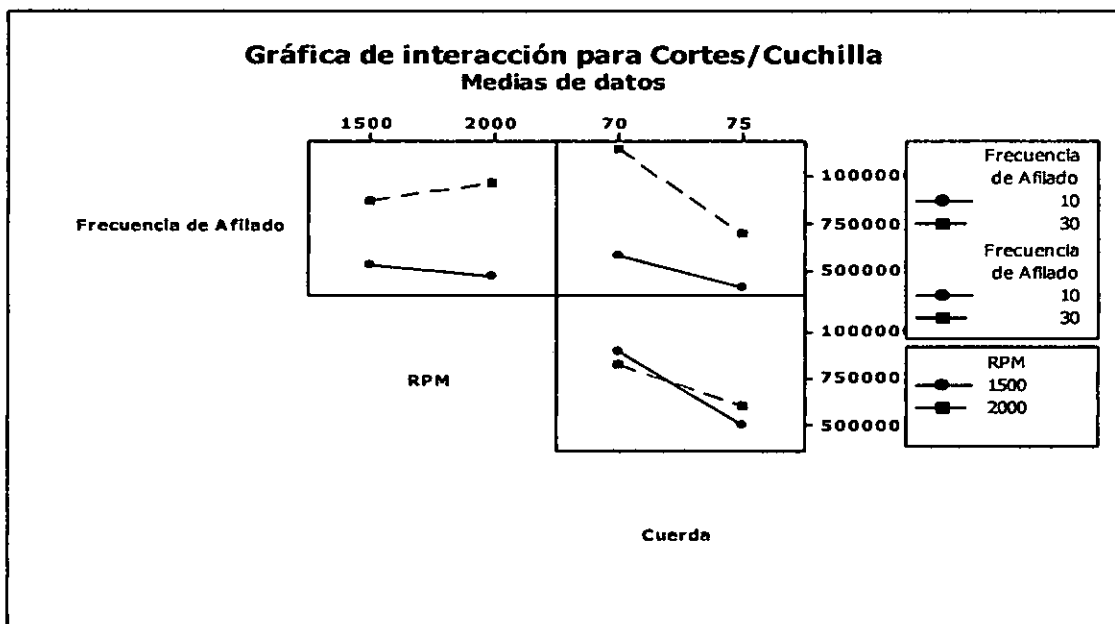


Figura 64: Grafica de Interacción para cortes/Cuchilla



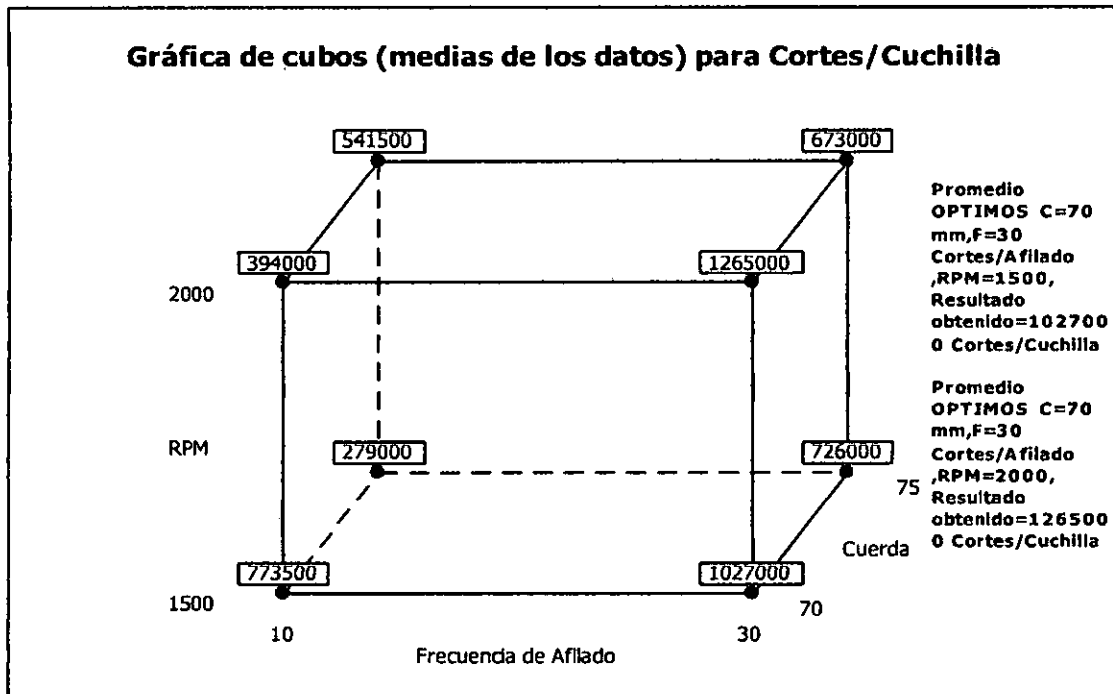


Figura 65: Gráfica de cubos para Cortes/Cuchilla

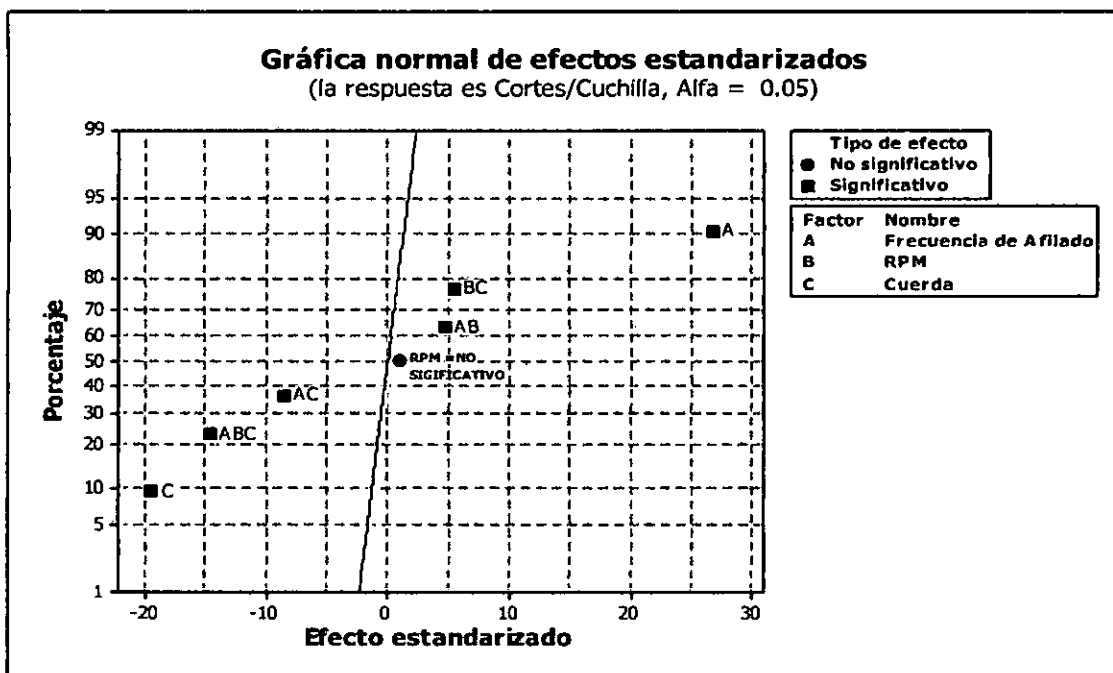


Figura 66: Gráfica normal de efectos estandarizados

#### D. ANOG-Proceso de corte cuchilla

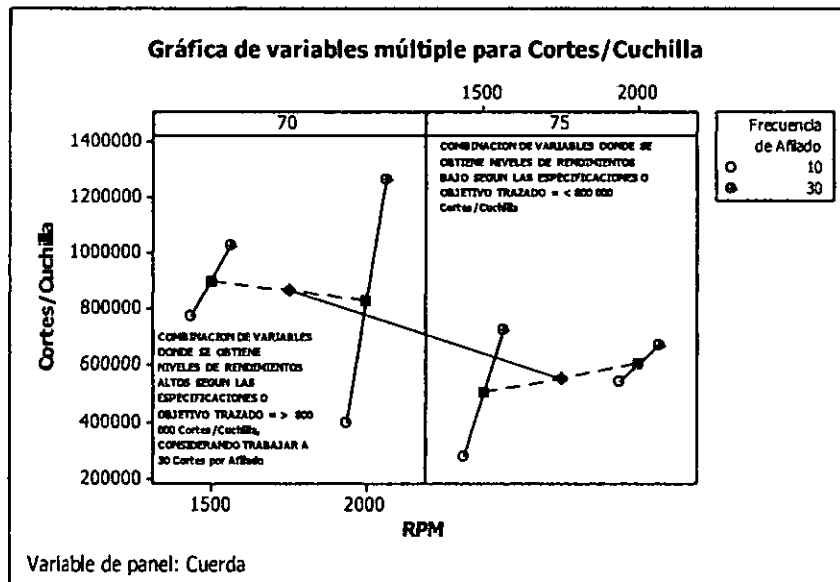
ANOG(DOE PROCESO DE CORTADO DE PAPEL)							
OrdenEst	OrdenCorrid	PtCentra	Bloques	Frecuencia de Afilado	RPM	Cuerda	Cortes/Cuchilla
12	12	1	1	80	2000	70	1284000
4	8	1	1	80	2000	70	1246000
2	15	1	1	30	1500	70	1030000
10	4	1	1	30	1500	70	1004000
9	13	1	1	10	1500	70	807000
1	6	1	1	10	1500	70	740000
14	10	1	1	80	1500	75	730000
6	1	1	1	80	1500	75	722000
8	7	1	1	30	2000	75	679000
16	2	1	1	30	2000	75	667000
7	16	1	1	10	2000	75	543000
15	14	1	1	10	2000	75	540000
3	9	1	1	10	2000	70	419000
11	8	1	1	10	2000	70	369000
18	11	1	1	10	1500	75	316000
5	5	1	1	10	1500	75	242000



**Figura 67: ANOG (Análisis of Good) de Cortes / Cuchilla**

Según las pruebas realizadas y aplicando al Análisis de ANOG se puede apreciar en el cuadro que el objetivo mínimo alcanzable comienza a partir de los valores indicados de rojo hacia arriba. Desde este análisis comienza nuestra optimización del proceso ya que el análisis nos indica que combinación de variables nos da mayor rendimientos.

#### E. Análisis gráfico de variables Múltiples



**Figura 68: Gráfica de variables Múltiples para Cortes/Cuchilla**

## F. Optimización del modelo

Para la optimización del modelo se consideró el máximo valor obtenido de Cortes/Cuchilla de la Prueba ANOV, además se verificó esta combinación óptima de variables críticas a través del análisis gráfico de variables Múltiples según el gráfico 30.

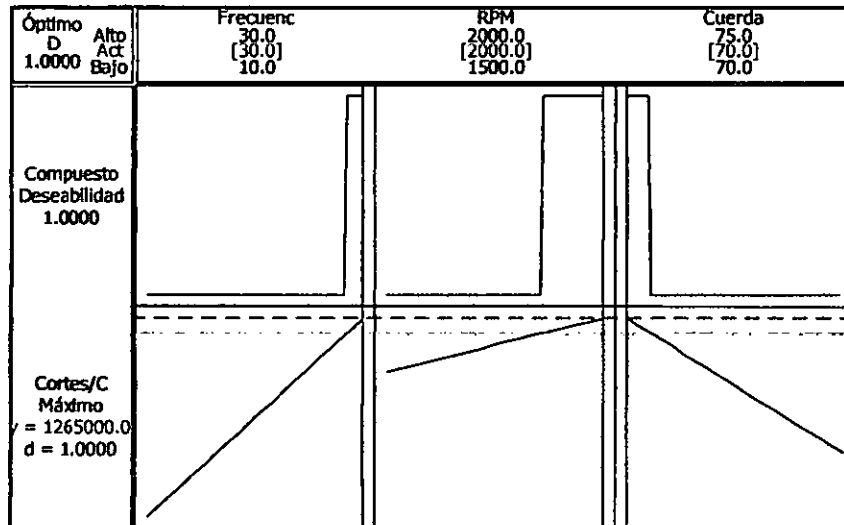


Figura 69: Optimización de respuesta de cortes / cuchilla

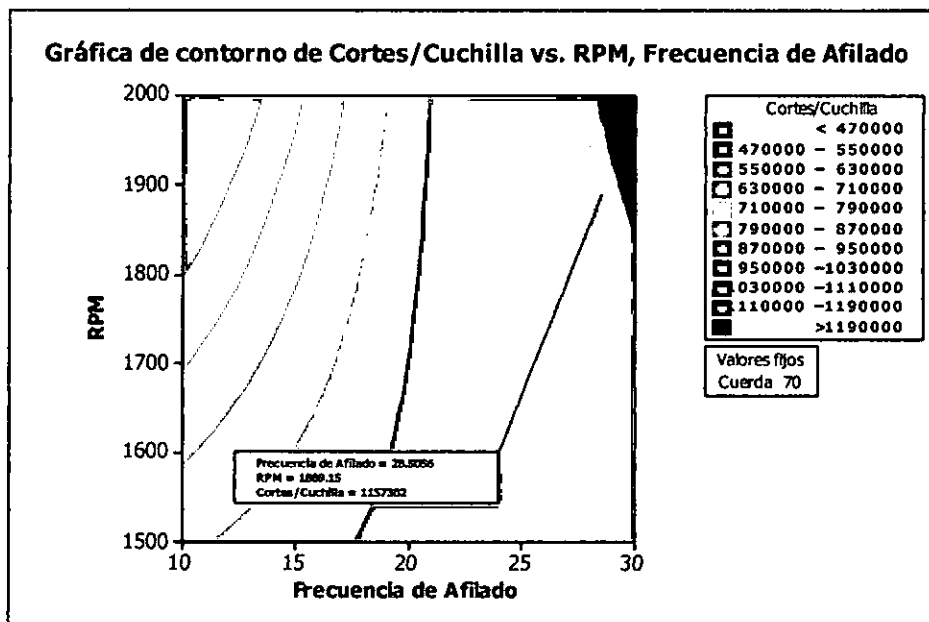


Figura 70: Gráfica de contorno de cortes / cuchilla vs RPM, frecuencia de afilado

## CAPÍTULO 4. PLAN PILOTO Y RESULTADOS: MEJORA Y CONTROL

### 4.1. Plan Piloto

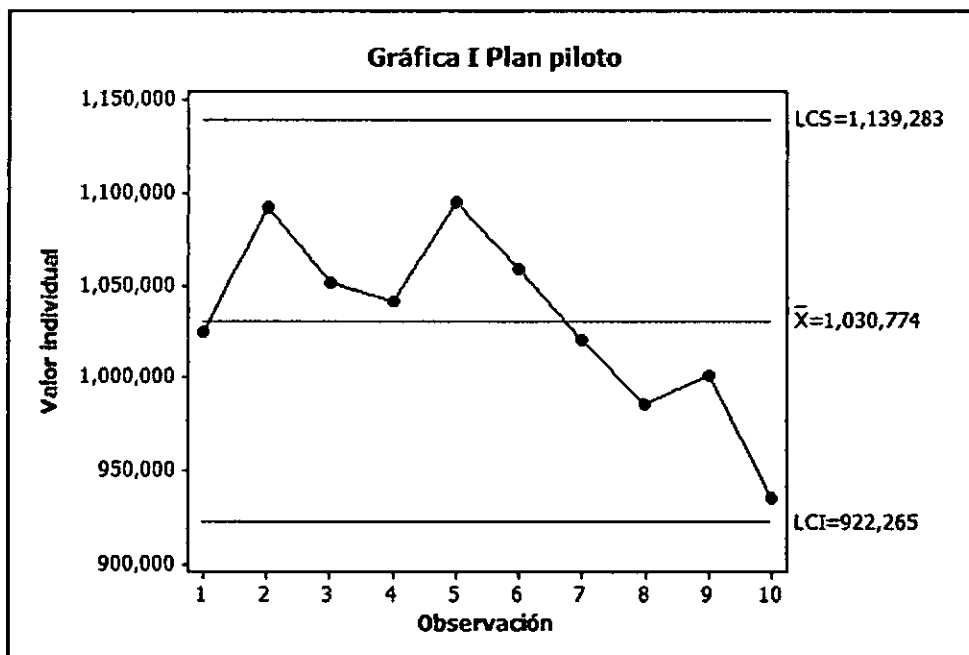
Se desarrolló un plan piloto con los nuevos valores de las variables críticas encontradas en 10 cuchillas.

**Tabla 29: Valores óptimos para la prueba Piloto**

Variable	Valor
Cuerda	70
Frec. Afilado	30
RPM	2000

### Gráfica de control

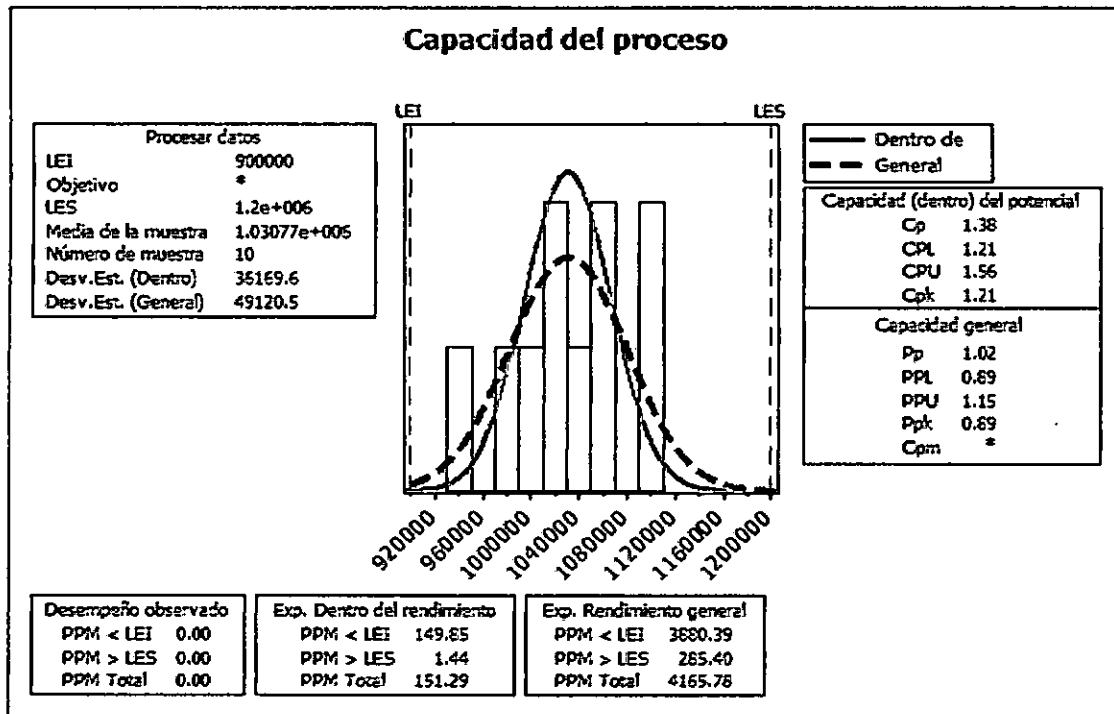
En esta etapa se desarrolla el proceso de Cortado de Papel con los parámetros establecidos en el Diseño Experimental (DOE), El gráfico siguiente muestra los datos del piloto, podemos observar que los datos están bajo control estadístico.



**Figura 71: Gráfica de control de Plan Piloto del Proceso de Corte de Papel**

Se puede observar que el comportamiento de la carta de control del proceso Piloto es estable y tiene un promedio de cortes/Cuchilla de 1,030,774

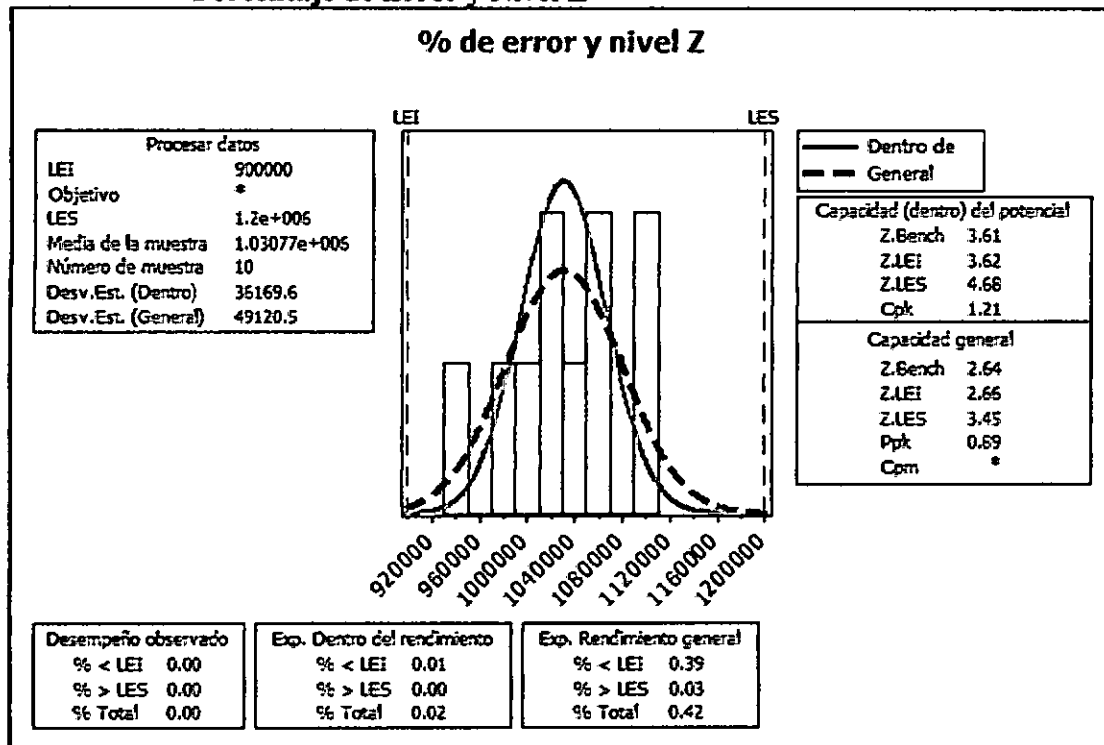
## Capacidad del proceso



Capacidad	Antes	Despues
Cp	0.41	1.38
Cpk	-1.31	1.21

**Figura 72:Capacidad del Proceso Piloto Mejorado**

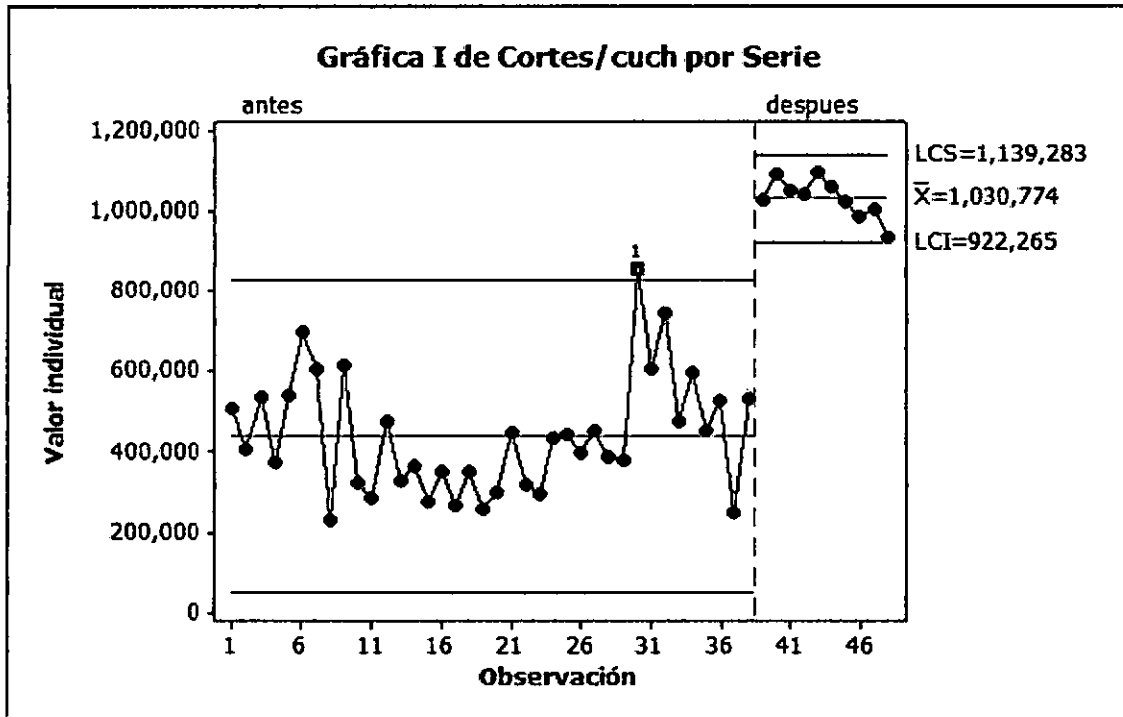
## Porcentaje de Error y Nivel Z



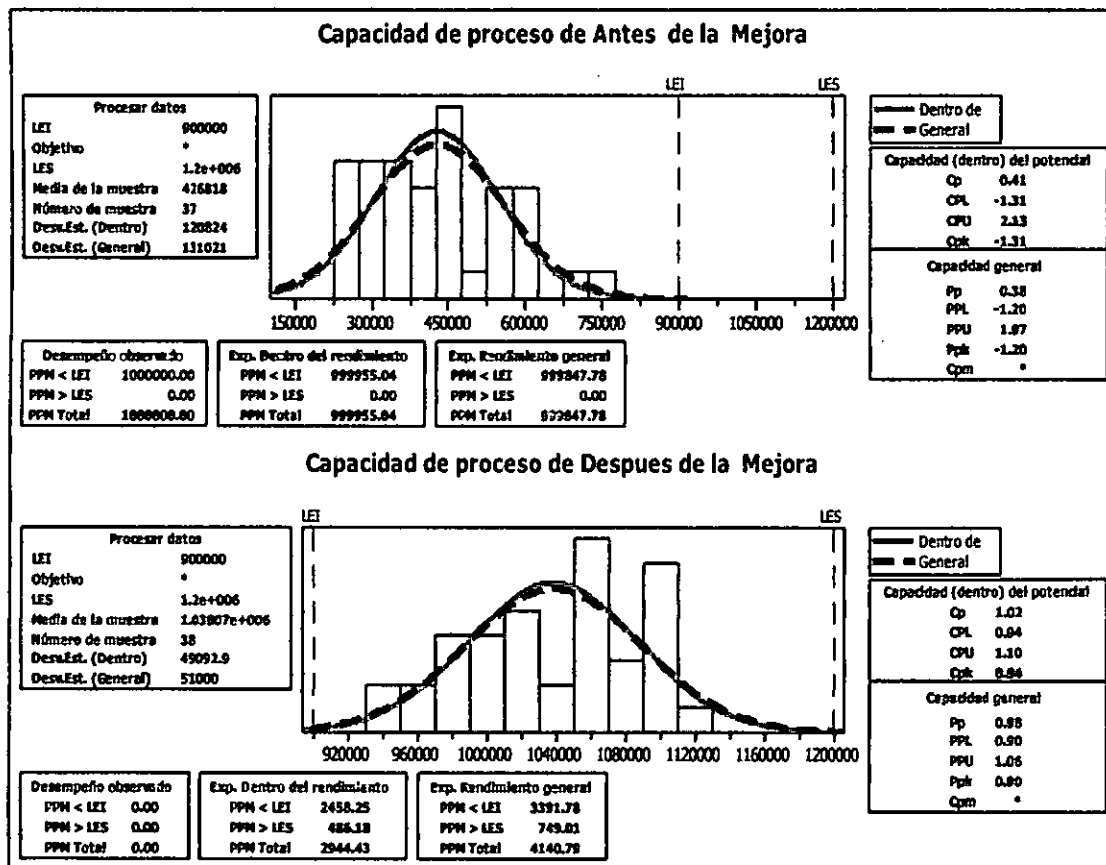
Capacidad	Antes	Despues
Nivel Sigma	-3.61	$2.64 + 1.5 = 4.14$

Figura 73: % de error y nivel Sigma del piloto mejorado

## Gráficas del proceso antes y después de la mejora



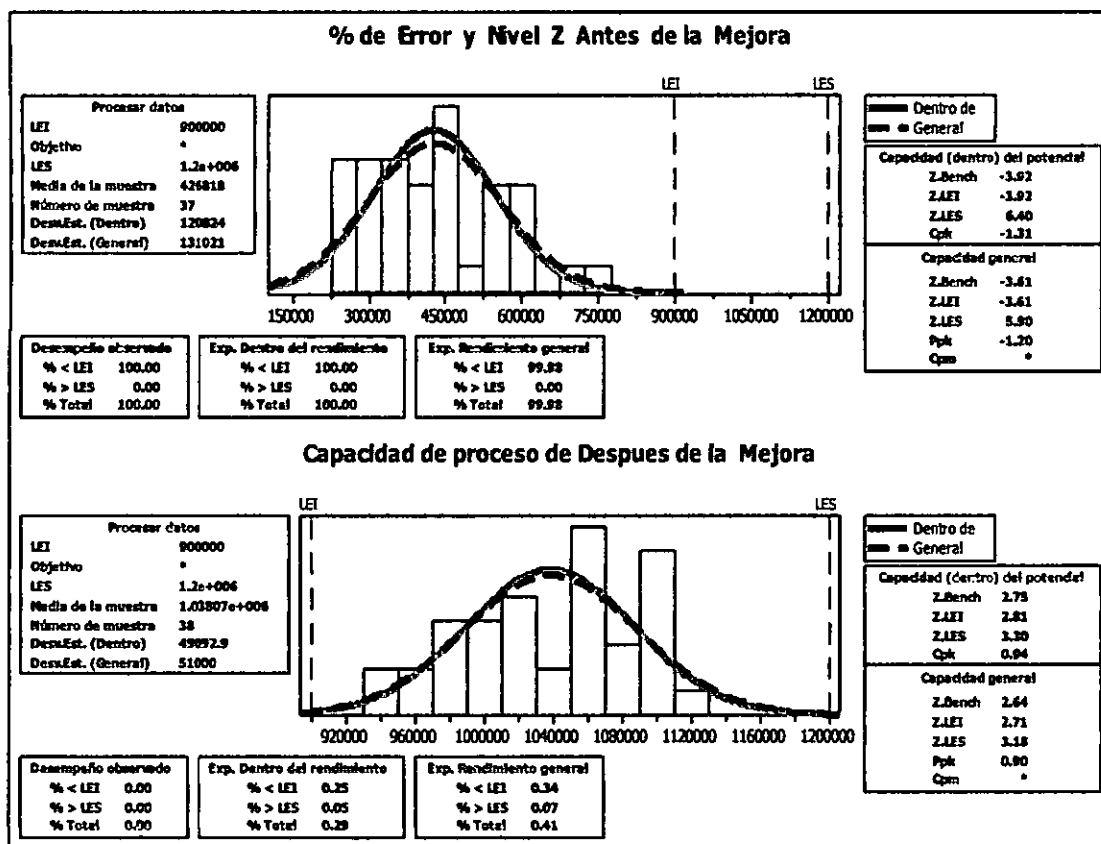
**Gráfico 1 : Gráfica de Control de Mejora del Proceso Piloto**



	Antes(Cp/Cpk)	Después(Cp/Cpk)
Capacidad Potencial y Real del Proceso (cpk) Cortado de Papel	0.41/ -1.31	1.02/0.94

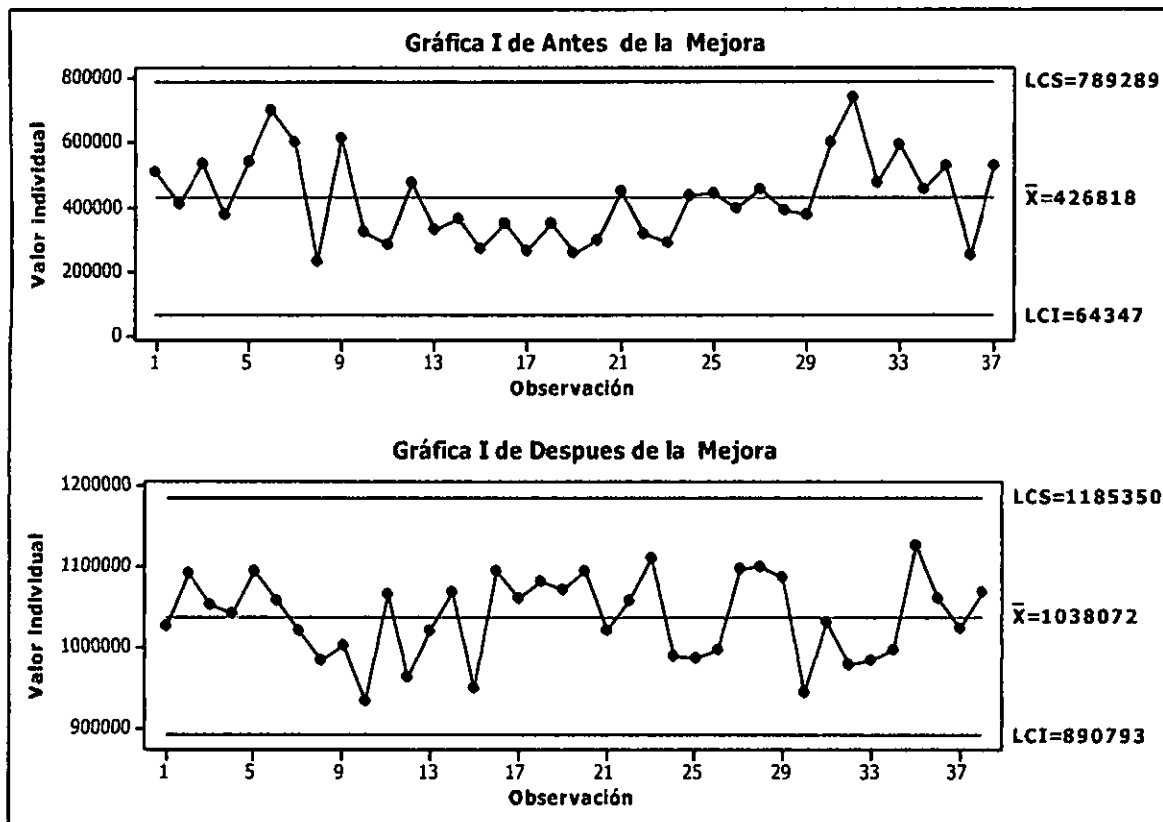
**Figura 74: Gráfica de Capacidad de Proceso Antes y Después de la Mejora**





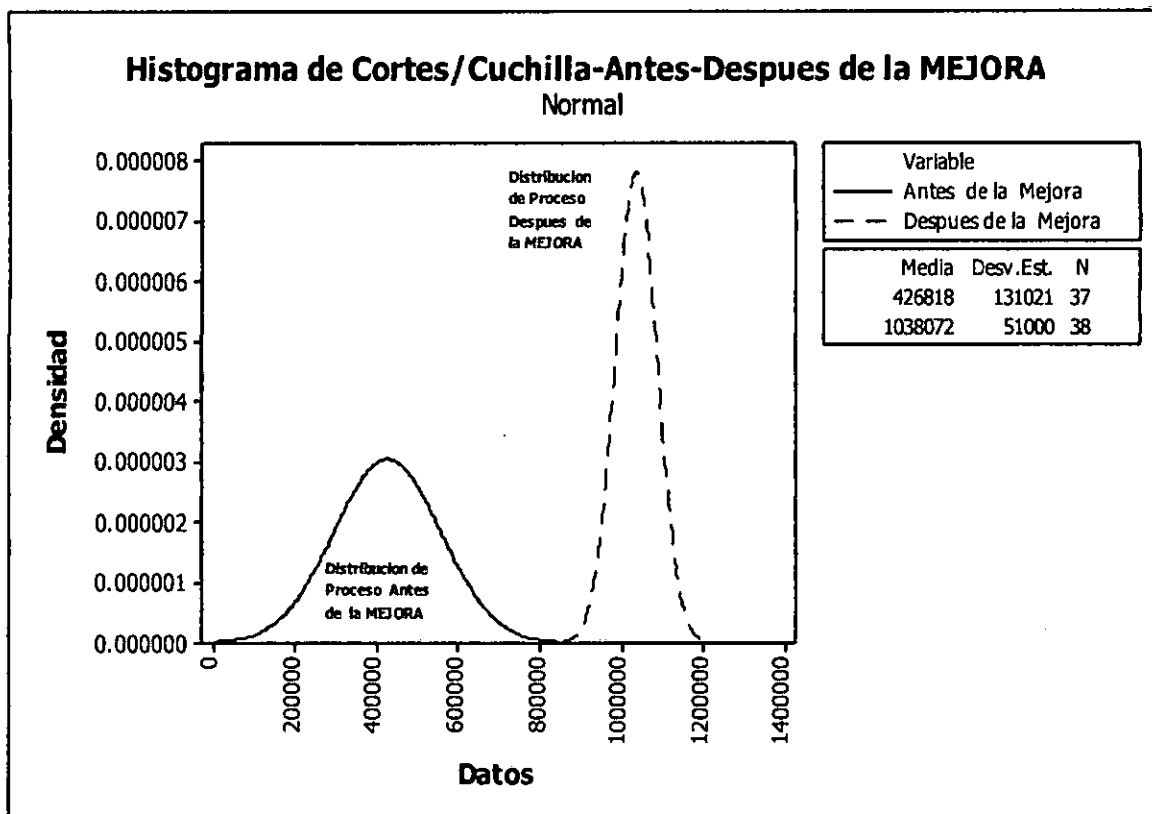
	Antes	Después
Nivel Sigma proceso Cortado de Papel	$-3.13 + 1.5 = -1.63$	$2.64 + 1.5 = 4.14$

**Figura 75: % Error y Nivel Sigma Antes y Después de la Mejora**



Se puede Observar que ambas cartas están en control, lo cual permitió en ambos casos calcular de manera adecuada la capacidad y nivel sigma del proceso de cortado de Papel.

**Figura 76: Control del Proceso de Cortado de papel Antes y Después de la Mejora**



Se puede observar que al mejorar el proceso se disminuyó la variabilidad y se movió la media, obteniéndose ahorro en términos de COPQ de más de \$150,000 al año

**Figura 77:Histograma de Cortes de Cuchilla Antes y Después de la Mejora**

## 4.2. Procedimientos

Se desarrollaron 2 procedimientos, el primero para asegurar la estandarización del cambio de cuchilla, y también para garantizar la preparación de las cuchillas antes de su ingreso a máquina con un check list de preparación.

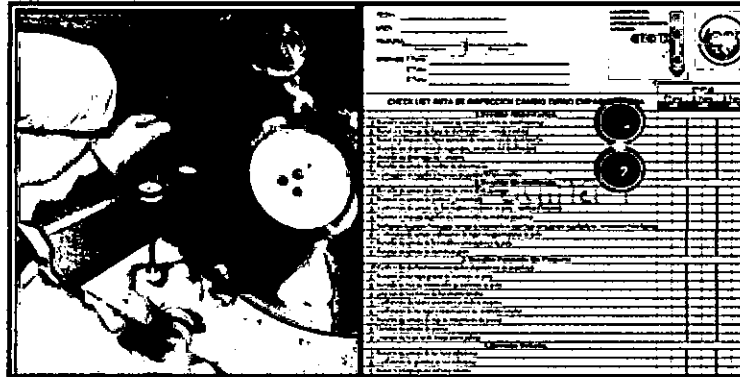


Figura 78: Estandarización de cambio de cuchilla

También se desarrolló una aplicación electrónica que permita el registro actualizado y rápido de las principales variables encontradas (Frecuencia de afilación, RPM cuchilla, CUERDA) en la etapa de analizar. Este registro debe llenarse 2 veces al turno para hacer efectivo el seguimiento.

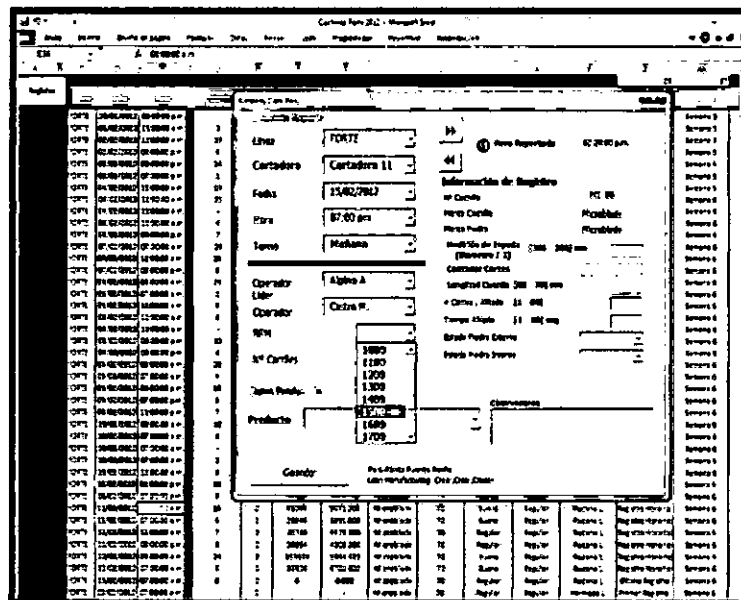


Figura 79: Aplicación electrónica para el registro de variables

#### 4.3. Metodología DMAIC: CONTROLAR

**Tabla 30: Plan de control de Proyecto**

Descripción del Proceso		Cliente del Proceso		Requerimiento Crítico del Cliente			Indicador de Salida	
Proceso de corte de Papel		Clientes internos ( almacén), mantenimiento, control de calidad, cliente final		Incremento de la cantidad de cortes por cuchilla (1,200,000 cortes/cuchilla)			Cantidad de cortes por cuchilla	
Proceso	Nombre los Indicadores(KI Vs, KPVs, KOVs) x's, y's Y's	Performance Standard Limites especificación y límites de Control	Indique Que Verificar	Tamaño de muestra	Frecuencia Cuando Verificar	Responsable Quién Verifica	Plan de Contingencia Acciones Correctivas	Tipo de Gráfico de Control
Corte de papel	Y: Cantidad de cortes /cuchilla	800000-1200000 cortes/cuchilla	Vida útil de cada cuchilla, cumplimiento del objetivo	1	En cada cuchilla	Prado M.	Análisis de causas al no llegar al objetivo. Evaluar que las condiciones de trabajo sean las óptimas	Gráfico de control IM-R
Corte de papel	X1: Longitud de cuerda	70 - 75 mm	Trabajar con la longitud de 70 mm (óptimo)	1	Diario	Agreda R/Hermoso	Evaluar que las condiciones de trabajo sean las óptimas	Gráfico de control IM-R

Corte de papel	X2: Frecuencia de Afilado	10 - 30 Cortes/Afilado	Trabajo con la frecuencia óptima (30 Cortes /Afilado)	1	Diario	Agreda R/Hermoso	Evaluar que las condiciones de trabajo sean las óptimas	Gráfico de control IM-R
Corte de papel	X3: RPM	1500 - 2000	Trabajar con 2000 RPM	1 cada afilado	Diario	Agreda R/Hermoso	Calibrar las RPM hasta llegar al óptimo	Gráfico de control IM-R
Corte de papel	X4: Marca de la cuchilla	IKS(62 ± 1) HRC	Que se esté utilizando cuchillas del proveedor IKS (de mayor dureza)	1	Cada Lote de Cuchilla	Agreda R/Hermoso	Utilizar cuchilla de similar dureza a IKS	Gráfico de control IM-R

#### 4.4. Transferencia del proyecto al dueño del proceso

**Tabla 31: Acta de entrega de proyecto**

<b>PROYECTO: Reducción del consumo de cuchillas de un proceso de corte de papel</b>		
<b>Caso de Negocio:</b> El problema se daba en la sección de corte de la línea convertidora de papel desde marzo 2012. El defecto crítico es la variabilidad del consumo de cuchillas para corte de papel. El rendimiento promedio de cuchillas era de 500,000 cortes/cuchilla, lo cual está por debajo del rendimiento obtenido en otras unidades		
<b>Objetivo</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incrementar y mantener un rendimiento 1,200,000 cortes por cuchilla</li> <li>• Obtener un ahorro anual de \$ 150,000</li> </ul>		
<b>Etapa DMAIC</b>	<b>Resultados</b>	<b>Documento Entregado</b>
Definir	Se definió el problema, equipo de trabajo, se encontraron las necesidades del cliente. Se desarrolló el Plan detallado del proyecto	Estatuto del proyecto Cronograma de actividades y etapas del proyecto Reporte de CTQ y CTP identificados
Medir	Se identificaron las variables del proceso, se realizó el levantamiento de los datos	Diagrama de proceso de bloque
Analizar	Se determinaron las causas raíces y se implementó las mejoras. Se logró determinar las 3 indicadores a controlar (longitud de cuerda, Frecuencia de corte, RPM )	Diagrama Causa efecto Matriz FMEA Plan de Medición.
Mejorar Controlar	Desarrollo del plan de control de proceso Control Financiero	Resultados del Plan piloto (validado con DOE) Plan de control Plan de beneficios financieros

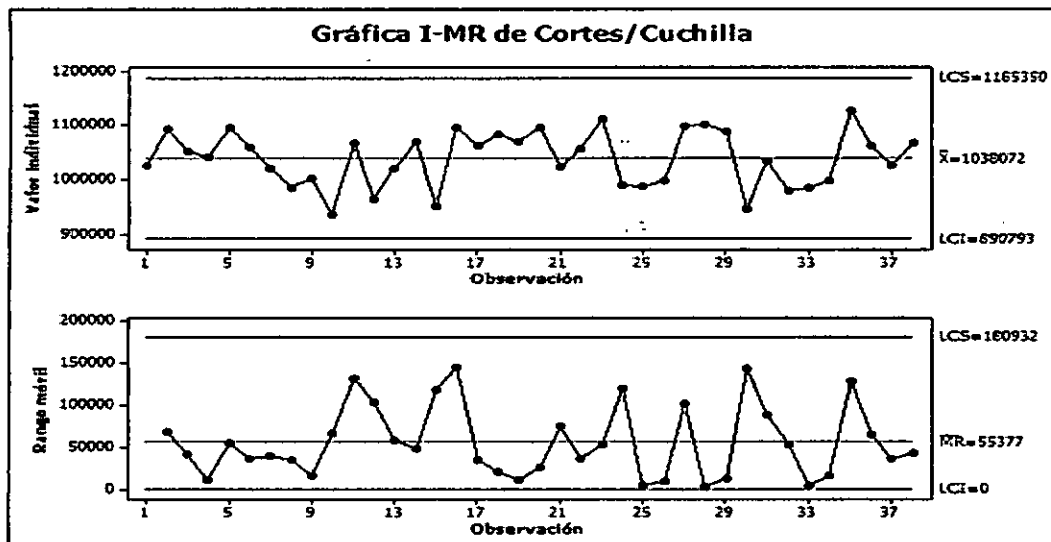
<b>Entrega del Proyecto a Propietario</b>	
Control Financiero 1er año	Actividad realizada por el propietario
Control Financiero 2do año	Actividad realizada por el propietario
<b>Asistentes:</b> Jefe de Producción Supervisor del Proceso / Dueño del proceso Green Belts	
<b>Acuerdos</b>	
El Jefe de Producción se hace responsable de llevar adelante la implementación total, control y reporte de los beneficios del presente proyecto durante los años 2013-2014 y 2015.	

#### **4.5. Control operativo y financiero**

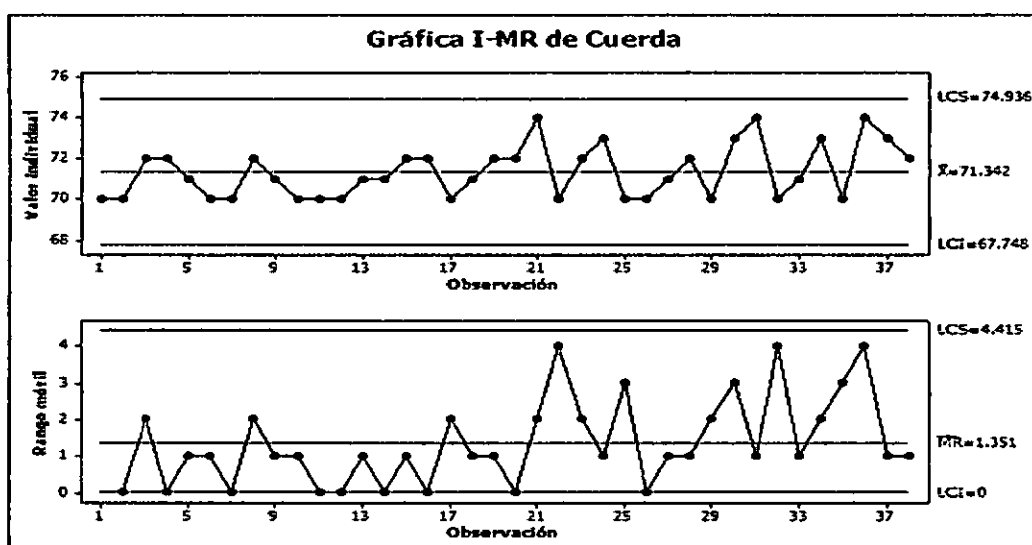
##### **4.5.1. Gráficas de control de las variables críticas**

A continuación, se presenta las Gráficas de control para las variables críticas del proceso. Se observa que las variables se han mantenido dentro de los límites de control.

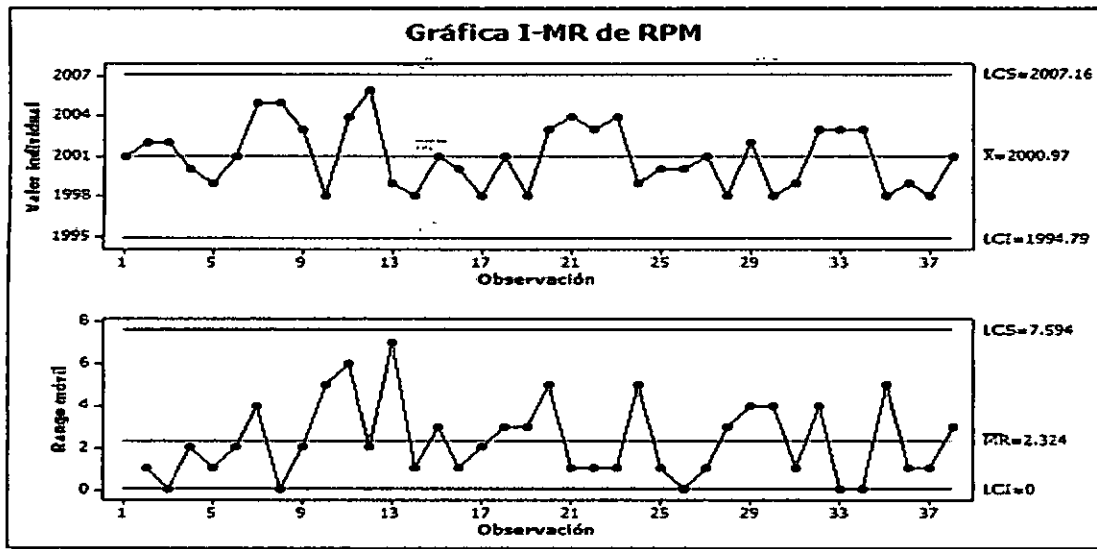




**Figura 80: Carta de control-cantidad de cortes por cuchilla**



**Figura 81: Carta de control para la variable cuerda**



**Figura 82: Carta de control para la variable RPM**

#### 4.5.2. Mecanismos de control

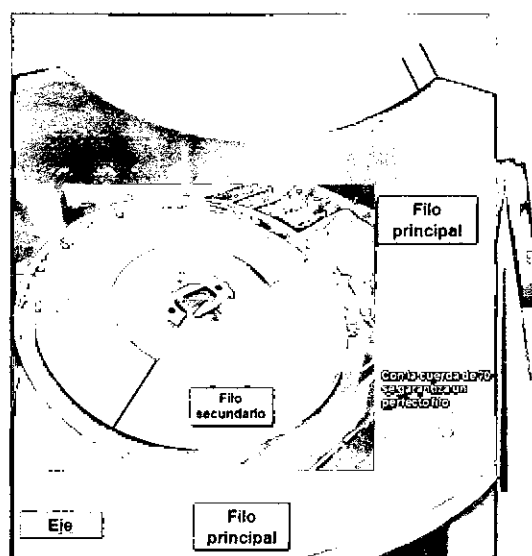
Se entregaron las siguientes ayudas visuales para el control:

2. Diferencia entre el buen y mal estado de Piedras de afilación



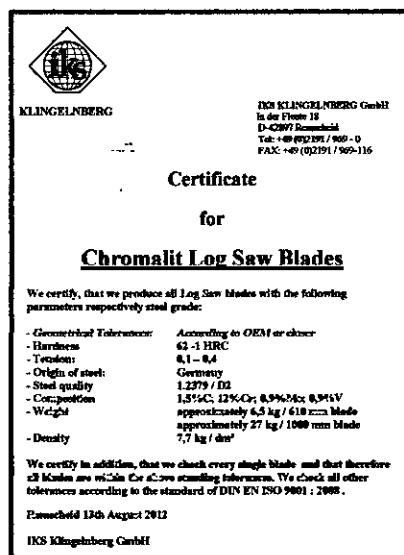
**Figura 83: Diferencia entre el buen y mal estado de Piedras de afilación**

3. Correcta de Ubicación de piedra que garantice una cuerda de 70 mm



**Figura 84:Correcta de Ubicación de las Piedras de afilación**

4. Finalmente se agregó a los requisitos de compra para cuchilla, la dureza, el cual fue entregado en un documento al área de compras.



**Figura 85: Certificado de dureza requerida para la cuchilla**

#### 4.5.3. Ahorro y control financiero

**Tabla 32: Ahorro financiero**

Número de Logs/día(24hrs)		40,000
Rollos día promedio		1,120,000
Rollos al Mes (26 días)		29,120,000
Precio Cuchilla \$		350
<b>Proceso</b>	<b>Cortes/ Cuchilla</b>	<b># Cuchillas</b>
Actual	439,495	67
Mejora estimada	1,038,072	29
Ahorro en cuchillas		38
Ahorro estimado mensual \$:		13,300
Ahorro estimado anual \$:		159,600

El ahorro estimado anual, calculado a partir de la mejora implementada (plan piloto) es de \$159,600.

**Tabla 33: Cuadro de control financiero**

Mes	Métrica	Efecto Financiero	Acumulado	Fecha reporte	Responsable
may-13	1,038,072	\$12,600	\$12,600	03-Jun	Supervisor
jun-13	1,000,018	\$12,600	\$12,600	31-May	Supervisor
julio-13					
.....					

#### 4.6. Impacto del tiempo de cambio de cuchilla sobre el ahorro de cuchillas

El cambio de cuchilla es en promedio de 1 hora y si eso lo convertimos en costo horas /Hombre es aproximadamente S/. 272 al mes (asumiendo que se cambiaron 32 cuchillas en el mes)

Respecto al calibre de papel no se tomó en cuenta dentro de las variables críticas ya que el calibre del papel utilizado en el producto final es de la misma característica según requerimiento de la empresa papelera.

Por tal razón no fue incluida como una variable crítica sobre el número de cortes por cuchilla por ser el efecto irrelevante.

**Tabla 34: Impacto del tiempo de cambio de cuchilla**

Sueldo Operario (S/.)	Horas trabajadas (mes)	Horas Invertidas por cambio de cuchilla
1500	176	1
Costo por Recambio	Ahorro en soles al mes	% el costo de Recambio
Cuchilla x mes(Soles)	en cuchillas	respecto ahorro Cuchillas
272.73	32130	0.85

## **CONCLUSIONES**

1. De acuerdo a los análisis presentados en este estudio se llegó a la meta satisfactoriamente obteniéndose valores promedio de 1, 038,000 cortes / cuchilla como se muestra en el desarrollo del plan piloto en el Capítulo 4; también se logró la reducción de un 61 % de la variabilidad del proceso de corte respecto a la variabilidad inicial como se muestra en el Subcapítulo 3.2 Medición. Con respecto a los ahorros establecidos al inicio del proyecto, estos se incrementaron ya que se consideró un promedio de 1,000,000 cortes / cuchilla, logrando así una meta de \$160,000, esto es \$20,000 más de los presupuestado.
2. El correcto diseño desde la Etapa DEFINICION formandoun equipo de trabajo que incluya a todas las partes interesadas así como el objetivo del proyecto debidamente evidenciado en el acta de constitución del proyecto, garantiza el compromiso, promueve la generación de ideas e innovación.
3. Se logró identificar a todos los agentes involucrados en el proceso de corte, así como a sus variables: Tiempo de afilado,Frecuencia de afilado, Velocidad Angular de la cuchilla, Longitud de la cuerda, Mecánico (Ejecutor cambio cuchilla), Marca de la cuchilla (Proveedor).
4. En la etapa MEDICION la adquisición de los valores de las variables que participan en el proceso, es vital, partiendo de la frase “lo que no se mide no se mejora”, pero no solo son importantes las mediciones sino también la validación de todo este sistema de mediciones que involucra, herramientas, equipos y gente.
5. ANÁLIZAR es una actividad inherente del ser humano, fue durante esta esta etapa donde se empieza a conocer el proceso, yse identifica que variables son las más influyentes, como frecuencia de corte, longitud de cuerda y proveedor para optimizar el rendimiento de las cuchillas, donde se produjo un mejora sustancial que nos llevó de un nivel sigma negativo, a

un nivel sigma de 4.14 sigmas (ver Subcapítulo 4.1 Plan piloto) duplicando el rendimiento de las cuchillas. Si bien es cierto la metodología seis sigma, plantea una mejora final de 6 sigmas (3.4 DPMO) esto nos indica que aún podemos mejorar el proceso y su variabilidad encontrando nuevas y mejores formas de trabajo y/o haciendo una mayor inversión en calidad. La mejora continua es un largo camino que recién ha dado un paso importante con el desarrollo de este estudio.

6. Se evidencio la causalidad de las variables, frecuencia de corte, RPM y proveedor como los principales agentes para maximizar el rendimiento de las cuchillas, y garantizar un adecuado control. Es muy importante asegurar la sostenibilidad de las mejoras realizadas.
7. El incremento de la productividad depende del esfuerzo de todas las áreas involucradas y la estandarización de las actividades mediante procedimientos de ejecución y frecuencia garantiza la disminución de la desviación estándar del proceso de corte de 131,121 cortes / cuchilla, a 51,000 cortes por cuchilla, un proceso más estable y menos variable.
8. Mediante las cartas de control se logra identificar si el proceso se encuentra fuera de control estadístico, mediante valores, mínimo 922,265 cortes / cuchilla y un máximo de 1'139,233 cortes / cuchilla, realizando oportunamente los ajustes y trabajos de mantenimiento necesarios para volver la tendencia del proceso a unobajo control.

## **RECOMENDACIONES**

El presente trabajo propone a la metodología seis sigma y sus herramientas básicas para la mejora de la calidad en el proceso productivo de la planta en estudio. Sin embargo, la finalización de la implementación de las mejoras no implica que la calidad del proceso y del producto haya llegado a su tope. A continuación se presentan propuestas para profundizar y complementar el presente trabajo y contribuir con la mejora continua de la calidad:

### **1. El manejo de herramientas estadísticas y la recopilación de información:**

El presente estudio plantea el uso de herramientas estadísticas para ejecutar el proyecto, debemos dejar de lado temores acerca de la “complejidad” del uso de estas herramientas, es imprescindible que la toma de decisiones en la empresa se genere en base a hechos y resultados. Así mismo para poder generar estos resultados debemos recolectar datos del proceso. La organización debe invertir los recursos necesarios para:

- Garantizar la recopilación de datos del proceso
- Capacitar al personal en el manejo de herramientas estadísticas.

### **2. Consideraciones de costos de la calidad :**

Montgomery (2001) nos da varias razones por las que se debería considerarse los costos de la calidad (en términos monetarios principalmente). De esta manera será más fácil para una organización encontrar áreas donde se deberían iniciar proyectos seis sigma e invertir adecuadamente la cantidad de recursos necesarios para su exitoso desarrollo.

### **3. Adopción de filosofías de calidad y estrategias de administración:**



Para complementar los beneficios de los proyectos seis sigma se debería optar por implementar en la organización algunas de las filosofías existentes para la calidad, tales como TQM, Seis Sigma, Manufactura esbelta o TPM.

4. Las computadoras y la mejora de procesos:

En el presente estudio, el software minitab, brinda un soporte vital para procesar los datos y organizar la información, las computadoras pueden ejecutar operaciones muy sencillas a enorme velocidad y con excepcional grado de precisión. El presente trabajo propone que en un futuro se logren implementar sistemas integrales automatizados para el control de variables y atributos, desde la toma de datos, hasta la generación de reportes del control rutinario para su correspondiente análisis

5. Creación y Organización de Equipos de trabajo para solución de problemas.

El presente estudio incluye a la formación de un equipo de trabajo como parte fundamental para el inicio del proyecto seis sigma. El desarrollo de liderazgo es primordial para dirigir todos los esfuerzos encaminados a la mejora. Se recomienda a la organización fomentar la creación de equipos de trabajo en todas las áreas, así como el establecimiento de metas agresivas, y la inversión de recursos suficientes en los proyectos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**BAHENA QUINTANILLA, Miguel**

2006. *"Aplicación De La Metodología Seis Sigma Para Mejorar La Calidad Y Productividad De Una Planta De Bebidas"*.

**BESTERFIELD, DALE H**

1994 *Control de calidad*. Cuarta Edición. México: Prentice Hall.

**GARZA LEON, Ubaldo y GLORIA DE LA GARZA, Roberto**

1995. *"Implementación De Sistema De Calidad Seis Sigma"*.

**JURAN, Joseph**

1990 *Juran y la planificación para la calidad*. Madrid: Díaz de Santos.

**MINITAB INC.**

2006 *Help. Minitab® 15.1.1.0.USA*: MINITAB INC.

**MINITAB INC.**

2006 *Statguide. Minitab® 15.1.1.0.USA*: MINITAB INC.

**MONTGOMERY, Douglas C**

2004 *Diseños de análisis y Experimentos*. 2nd Edition. USA: John Wiley & Sons, Inc., Arizona State University

**RON BASU**

2009 *"Implementing Six Sigma and Lean: A Practical Guide to Tools and Techniques"*. (Primera Edición)

**TANCO RAINUSSO, Pablo Martin**

2008 *"Metodología para la aplicación del Diseño de Experimentos (DOE) en la industria"*

**THOMAS PYZDEK**

2003 *"Six Sigma Handbook"* A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels. Copyright © 2003 by The McGraw-Hill

**Linkografía**

[www.isixsigma.com](http://www.isixsigma.com)

[www.sht.com.ar/archivo/Management/seis\\_sigma.htm](http://www.sht.com.ar/archivo/Management/seis_sigma.htm)

## **ANEXOS**

### **1. Glosario de Términos**

CEP	Control estadístico del proceso
Cp	Capacidad de proceso
Cpk	Capacidad del proceso con respecto a la media
Cpl	Capacidad del proceso con respecto al límite inferior
Cpu	Capacidad del proceso con respecto al límite superior
CTF	Crítico al funcionamiento
DC	Defectos creados
DE	Defecto escapados
Defecto	Característica que no cumple con la especificación
Desviación	Grado de dispersión de los datos de un proceso
Estándar	
DI	Defectos inducidos
Distribución	Forma en la que distribuyen la característica de un producto en un proceso
DO	Defectos observados
DPMO	Defecto por millón de oportunidades
DPU	Defectos por unidad
e	Exponencial
EPV	Eficiencia de primera vez
ISO-9000	Sistema de Calidad de la norma ISO
LIC	Límite inferior de control
LIE	Límite inferior de especificación
LSC	Límite superior de control
LSE	Límite superior de especificación
Media	Valor promedio de un grupo de características.
PPM	Partes por millón

## 2. Base de datos de rendimiento de cuchillas para el análisis inicial.

### Base de datos de la organización.

	Cortes	Fi_Cortes	T_Afilado	RPM	Cuerda	Proveedor	Mecánico
1	507,506CORTES / CUCHILLA	8	1.5	1600	72	Microblade	Hermoso
2	406,556CORTES / CUCHILLA	7	1.3	1600	70	Microblade	Hermoso
3	533,300CORTES / CUCHILLA	4	1.7	1600	70	Microblade	Perea
4	374,670CORTES / CUCHILLA	4	1.2	1600	73	Microblade	Hermoso
5	540,300CORTES / CUCHILLA	8	1.5	1800	69	IKS	Hermoso
6	699,521CORTES / CUCHILLA	10	1.3	1800	70	IKS	Hermoso
7	603,150CORTES / CUCHILLA	10	1.2	1800	70	IKS	Hermoso
8	228,308CORTES / CUCHILLA	4	1.5	1600	74	Microblade	Perea
9	613,038CORTES / CUCHILLA	10	0.8	1600	70	Microblade	Hermoso
10	323,298CORTES / CUCHILLA	6	0.9	1600	75	Microblade	Perea
11	282,800CORTES / CUCHILLA	4	1.4	1600	75	Microblade	Hermoso
12	474,942CORTES / CUCHILLA	7	1.4	1600	73	Microblade	Hermoso
13	326,760CORTES / CUCHILLA	6	1.2	1700	70	Microblade	Marreros
14	364,690CORTES / CUCHILLA	5	1.2	1600	70	Microblade	Hermoso
15	273,426CORTES / CUCHILLA	5	1.1	1600	74	Microblade	Perea
16	350,318CORTES / CUCHILLA	6	1.2	1600	72	Microblade	Hermoso
17	265,308CORTES / CUCHILLA	5	1.7	1600	73	Microblade	Perea
18	350,867CORTES / CUCHILLA	5	1.2	1600	73	Microblade	Perea
19	258,790CORTES / CUCHILLA	5	1.8	1600	72	Microblade	Marreros
20	299,488CORTES /	4	1.8	1600	74	Microblade	Perea

	CUCHILLA						
21	446,362CORTES / CUCHILLA	4	1.2	1600	70	IKS	Perea
22	316,146CORTES / CUCHILLA	6	1.2	1600	71	IKS	Marreros
23	291,640CORTES / CUCHILLA	3	1.4	1600	74	IKS	Perea
24	434,818CORTES / CUCHILLA	7	1.5	1600	75	IKS	Perea
25	440,314CORTES / CUCHILLA	10	1	1600	73	IKS	Perea
26	393,519CORTES / CUCHILLA	6	1	1600	72	IKS	Hermoso
27	453,414CORTES / CUCHILLA	8	0.8	1400	75	IKS	Hermoso
28	387,112CORTES / CUCHILLA	7	0.8	1400	72	Microblade	Perea
29	377,044CORTES / CUCHILLA	8	0.8	1400	73	Microblade	Marreros
30	856,166CORTES / CUCHILLA	25	0.8	1700	70	IKS	Hermoso
31	604,284CORTES / CUCHILLA	12	1.2	1700	71	IKS	Marreros
32	742,644CORTES / CUCHILLA	20	1.8	1800	70	IKS	Perea
33	474,194CORTES / CUCHILLA	15	1.2	1900	74	Microblade	Marreros
34	593,390CORTES / CUCHILLA	25	1	1900	75	IKS	Hermoso
35	453,039CORTES / CUCHILLA	20	1.6	2000	72	IKS	Marreros
36	526,436CORTES / CUCHILLA	22	1.7	2000	72	IKS	Hermoso
37	249,448CORTES / CUCHILLA	10	1.3	2100	75	Microblade	Hermoso
38	531,434CORTES / CUCHILLA	20	1.6	1900	71	IKS	Marreros

**3. Tabla de datos Corrida DOE (antes de la mejora)**  
Elaboración propia

OrdenCorrida	Fi_Cort	Cuerda	RPM	Cort/cuch
1	10	75	2000	540.492 cortes / cuchilla
2	10	75	2000	543.492 cortes / cuchilla
3	30	70	2000	1,246.162 cortes / cuchilla
4	10	70	2000	418.788 cortes / cuchilla
5	10	70	1500	740.046 cortes / cuchilla
6	10	75	1500	241.692 cortes / cuchilla
7	30	70	2000	1,284.162 cortes / cuchilla
8	30	75	2000	667.382 cortes / cuchilla
9	10	70	2000	368.788 cortes / cuchilla
10	30	70	1500	1,004.058 cortes / cuchilla
11	30	75	2000	679.382 cortes / cuchilla
12	10	70	1500	807.046 cortes / cuchilla
13	30	75	1500	721.994 cortes / cuchilla
14	30	75	1500	729.994 cortes / cuchilla
15	10	75	1500	315.692 cortes / cuchilla
16	30	70	1500	1,050.058 cortes / cuchilla

**4. Tabla De Conversión De Capacidad Del Proceso En Sigmas**  
Bahena Quintanilla (2006)

Sigma	DPMO	YIELD	Sigma	DPMO	YIELD
6	3.4	99.99966%	2.9	80.757	91.9%
5.9	5.4	99.99946%	2.8	96.801	90.3%
5.8	8.5	99.99915%	2.7	115,070	88.5%
5.7	13	99.99866%	2.6	135,666	86.4%
5.6	21	99.9979%	2.5	158,655	84.1%
5.5	32	99.9968%	2.4	184,060	81.6%
5.4	48	99.9952%	2.3	211,855	78.8%
5.3	72	99.9928%	2.2	241,964	75.8%
5.2	108	99.9892%	2.1	274,253	72.6%
5.1	159	99.984%	2	308,538	69.1%
5	233	99.977%	1.9	344,578	65.5%
4.9	337	99.966%	1.8	382,089	61.8%
4.8	483	99.952%	1.7	420,740	57.9%
4.7	687	99.931%	1.6	460,172	54.0%
4.6	968	99.90%	1.5	500,000	50.0%
4.5	1,350	99.87%	1.4	539,828	46.0%
4.4	1,866	99.81%	1.3	579,260	42.1%
4.3	2,555	99.74%	1.2	617,911	38.2%
4.2	3,467	99.65%	1.1	655,422	34.5%
4.1	4,661	99.53%	1	691,462	30.9%
4	6,210	99.38%	0.9	725,747	27.4%
3.9	8,198	99.18%	0.8	758,036	24.2%
3.8	10,724	98.9%	0.7	788,145	21.2%
3.7	13,903	98.6%	0.6	815,940	18.4%
3.6	17,864	98.2%	0.5	841,345	15.9%
3.5	22,750	97.7%	0.4	864,334	13.6%
3.4	28,716	97.1%	0.3	884,930	11.5%
3.3	35,930	96.4%	0.2	903,199	9.7%
3.2	44,565	95.5%	0.1	919,243	8.1%
3.1	54,799	94.5%			
3	66,807	93.3%			

## **5. Pasos de Motorola para la mejora de procesos**

- A. Priorizar oportunidades de mejora:** Conocer y especificar los problemas haciendo las siguientes preguntas: cómo, cuándo, donde, por qué y quién. Indicar cuál es el impacto al cliente, confiabilidad, calidad del producto, costos de calidad.
- B. Seleccionar el equipo de trabajo adecuado:** Seleccionar un pequeño grupo de gente que conozca el producto/ proceso, con la experiencia, disciplina técnica y conocimiento en el área relativa. Establecer el rol del equipo y de cada miembro, Seleccionar un Champion que será el encargado de proporcionar los recursos, conducir y asesorar al grupo.
- C. Describir el proceso en su totalidad:** Mediante el uso de diagramas de flujo ilustrar las posibles variaciones y alternativas del proceso. Incluyendo todo el equipo, gente, métodos, herramientas instrumentos y equipos de medición.
- D. Análisis del desempeño de los sistemas de medición:** Determinar la exactitud, repetitibilidad y reproducibilidad, linealidad y estabilidad de cada instrumento o indicador utilizado, para asegurar que la capacidad de los mismos sea la adecuada, a lo más del 10% de la variación total permitida para características críticas o 30% máximo para características no críticas. Asegurar que la resolución de la división o dígito más pequeño sea al menos 10 veces mayor que la magnitud que se va a comparar. Por ejemplo si la tolerancia es de 10mm. El medidor debe tener una resolución o distancia entre marcas de al menos 1mm.
- E. Identificar y describir los procesos y productos potencialmente críticos:** Enumerar todos los procesos críticos potenciales, mediante el uso de tormentas de ideas, datos históricos, reportes de rendimiento, análisis de falla etc.
- F. Aislar y verificar los procesos críticos:** Reducir la lista enfocándonos a los pocos



vitales, identificar las relaciones de entrada y salida que provocan problemas específicos. Verificar las causas potenciales de variación en los procesos, mediante el uso de diseño de experimentos, diagramas de dispersión, y diagramas multivariados.

- G. **Estudio del desempeño del proceso y medición de la capacidad:** Identificar y definir las limitaciones de los procesos. Asegurar que los procesos sean capaces de alcanzar su máximo potencial. Determinar las especificaciones “reales”. Se considera que un proceso es capaz cuando  $C_p \geq 1.3$   $C_{pk} \geq 1.0$ , si el proceso es capaz se continúa con el paso 8, de lo contrario se requiere tomar acciones rediseñando el proceso o el producto.
- H. **Implementación de condiciones de operación y control óptimas:** Llevar a cabo un plan permanente de acciones correctivas para prevenir causas especiales de variación. Es necesario tener un proceso estable y predecible, por lo cual se deberá tener continuamente controles de proceso.
- I. **Monitoreo de procesos a través de la mejora continua:** Los sistemas, métodos, procedimientos deberán de ser modificados cuando sea necesario para evitar las causas especiales de variación. También será necesario identificar las acciones futuras requeridas para mejorar el proceso.
- J. **Reducir causas comunes de variación para alcanzar Seis Sigma:** Se deben reconocer las limitaciones del proceso. Solamente a través de la reducción y eliminación de las causas comunes de variación y el diseño para la manufactura es posible alcanzar el nivel Seis Sigma. Una vez que las causas especiales se han eliminado solamente pueden permanecer causas comunes las cuales se irán eliminando a través de la mejora continua de los procesos.

## 6. Calcular el valor Sigma del Proceso

Un proceso tiene un  $Y_{RT} = 0.9034$  con 4 operaciones. Determine  $Y_N$  y  $Z_{\text{benchmark}}$

$$Y_N = \sqrt[n]{Y_{RT}} = \sqrt[4]{0.9034} = 97.49 \%$$

$$Z_{\text{benchmark}} = Z_{YN} + 1.5 = Z(0.9749) + 1.5 = 1.9548 + 1.5 = 3.4582$$

Existen 2 métodos para calcular el valor de Sigma (La sigma del proceso que es la sigma a corto plazo  $Z_{ST}$ ), y 2 herramientas que ayudan a obtener el valor, las cuales se exponen a continuación:

**METODO 1 (Utilizando en Excel):**

1. El rendimiento es igual a  $Y_{RT} = 1 - DPU$  o  $Y_{RT} = (1 - D / DPO)$
2. La Z sigma a largo plazo  $Z_{LT} = \text{distr.norm.estand.inv}(Y_{RT})$
3. La Z sigma a corto plazo o Sigma del proceso =  $Z_{ST} = Z_{LT} + 1.5$

**METODO 2 (Utilizando en Excel):**

1. Se determina  $Z_{LIE}$  y  $Z_{LSE}$  sobre la base de las especificaciones
2. Se determina la fracción defectiva  $P(Z_{LIE})$  y  $P(Z_{LSE})$
3. Con  $P(Z_{LIE}) = \text{distr.norm.estand.inv}(Z_{LIE})$  y  $P(Z_{LSE}) = \text{distr.norm.estand.inv}(-Z_{LSE})$
4. La fracción defectiva total es  $P(Z_T) = P(Z_{LIE}) + P(Z_{LSE})$
5. El rendimiento se determina con  $Y_{RT} = 1 - P(Z_T)$
6. La Z sigma a largo plazo  $Z_{LT} = \text{distr.norm.estand.inv}(Y_{RT})$
7. La Z sigma a corto plazo o Sigma del proceso =  $Z_{ST} = Z_{LT} + 1.5$

A continuación se presenta una ayuda gráfica paso a paso para determinar los valores de Z.

## Calculating Process Sigma: Method 1

1. Determine number of defect opportunities per unit	O =	
2. Determine number of units processed	N =	
3. Determine total number of defects made (include defects made and later fixed)	D =	
4. Calculate Defects Per Opportunity	$DPO = \frac{D}{N \times O} =$	
5. Calculate Yield	$Yield = (1 - DPO) \times 100 =$	
6. Look up Sigma in the Process Sigma Table	Process Sigma =	

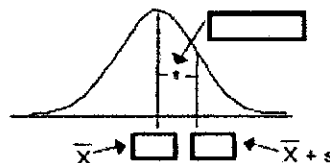
## Calculating Process Sigma: Method 2

### 1. ENTER AVERAGE, STANDARD DEVIATION, AND SPEC LIMITS

$\bar{X}$  = \_\_\_\_\_  $s$  = \_\_\_\_\_ USL = \_\_\_\_\_ LSL = \_\_\_\_\_

### 2. LABEL A NORMAL CURVE

- Average
- Standard deviation
- USL (and shade to LEFT for Area 1)
- LSL (and shade to LEFT for Area 2)



### 3. DETERMINE AREA BELOW USL (AREA 1)

Find  $Z_1$

$$Z_1 = \frac{USL - \bar{X}}{s} = \frac{(\quad) - (\quad)}{(\quad)} = \quad$$

Look up  $Z_1$  in Normal Table

NormDist ( $Z_1$ ) = Value from Normal Table =

### 4. DETERMINE AREA BELOW LSL, IF ANY (AREA 2)

Find  $Z_2$

$$Z_2 = \frac{LSL - \bar{X}}{s} = \frac{(\quad) - (\quad)}{(\quad)} = \quad$$

Look up  $Z_2$  in Normal Table

NormDist ( $Z_2$ ) = Value from Normal Table =

### 5. CALCULATE YIELD

$$Yield = Area 1 - Area 2 = \quad - \quad = \quad$$

$$Yield (percentage) = Yield \times 100\% = \quad$$

**Figura 86: Método 1 y 2 para calcular el nivel sigma del proceso**  
Bahena Quintanilla (2006)

## 7. Pasos para realizar una Carta de Control X-R

### Paso 1: Colectar los datos.

Los datos son el resultado de la medición de las características del producto, los cuales deben de ser registrados y agrupados de la siguiente manera:

- Se toma una muestra (subgrupo) de 2 a 10 piezas consecutivas y se anotan los resultados de la medición (se recomienda tomar 5). También pueden ser tomadas en intervalos de tiempo de ½ - 2 hrs., para detectar si el proceso puede mostrar inconsistencia en breves periodos de tiempo.
- Se realizan las muestras de 20 a 25 subgrupos.

### Paso 2: Calcular el promedio $\bar{X}$ y R para cada subgrupo

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N}$$

$$R = X_{mayor} - X_{menor}$$

### Paso 3: Calcule el rango promedio ( $\bar{R}$ ) y el promedio del proceso ( $\bar{X}$ ).

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_K}{K}$$

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_K}{K}$$

Donde K es el número de subgrupos, R1, R2...es el rango de cada subgrupo; X1, X2... son el promedio de cada subgrupo.

### Paso 4: Calcule los límites de control

Los límites de control son calculados para determinar la variación de cada subgrupo, están basados en el tamaño de los subgrupos y se calculan de la siguiente forma:

$$LSCR = D4R \quad LSCX = \bar{X} + A2R$$

$$LICR = D3R \quad LICX = \bar{X} - A2R$$

Donde D4, D3, A2 son constantes que varían según el tamaño de muestra. A continuación se presentan los valores de dichas constantes para tamaños de muestra de 2 a 10.

**Tabla 35: Constantes D4, D3, A2 para calcular los límites de control**  
Bahena Quintanilla (2006)

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D4	3.27	2.57	2.28	2.11	2.00	1.92	1.86	1.82	1.78
D3	0	0	0	0	0	0.08	0.14	0.18	0.22
A2	1.88	1.02	0.73	0.58	0.48	0.42	0.37	0.34	0.31

**Paso 5: Seleccione la escala para las gráficas de control**

Para la gráfica X la amplitud de valores en la escala debe de ser al menos del tamaño de los límites de tolerancia especificados o dos veces el rango promedio (R).

Para la gráfica R la amplitud debe extenderse desde un valor cero hasta un valor superior equivalente a 1 ½ - 2 veces el rango.

**Paso 6: Trace la carta de control**

Dibuje las líneas de promedios y límites de control en las gráficas.

Los límites de Control se dibujan con una línea discontinua y los promedios con una línea continua para ambas cartas.

Marcar los puntos en ambas gráficas y unirlos para visualizar de mejor manera el comportamiento del proceso.